

Markberedning i brant och stenig terräng

– En jämförande studie mellan markberedning med
harv, grävmaskin och spadförsedd skördare

Mechanical soil scarification in steep and rough terrain

– *A comparative study of a two-armed disc trencher, conventional excavator
and a harvester with a crane mounted attachment.*



Foto: Malin Johansson

Malin Johansson

**Arbetsrapport 14 2016
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Urban Bergsten**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Markberedning i brant och stenig terräng

– En jämförande studie mellan markberedning med
harv, grävmaskin och spadförsedd skördare

Mechanical soil scarification in steep and rough terrain

*– A comparative study of a two-armed disc trencher, conventional excavator
and a harvester with a crane mounted attachment.*

Malin Johansson

Nyckelord: Planteringspunkter, ytstruktur, lutning, överlevnad, tillväxt, Heureka, nuvärde

Arbetsrapport 14 2016

Master thesis in Forest Management at the Department of Forest Biomaterials and Technology, 30 hp
EX0772, Jägmästarprogrammet

Handledare: Urban Bergsten, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2016

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Detta examensarbete omfattande 30 hp på avancerad nivå har skrivits vid Institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Fakulteten för skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Studien har genomförts som en del av det branschgemensamma arbetet med att utveckla markberedning inom svenskt skogsbruk. Arbetet har utförts på uppdrag av skogsvårdstekniska samverkansgruppen, STSG, och har finansierats via Skogforsks strategiska satsning 2015. Markvärd för fältförsök var SCA Skog. Jag är väldigt tacksam över att jag fick möjligheten och förtroendet till att göra denna studie som mitt examensarbete på jägmästarprogrammet.

Jag vill främst tacka Per-Martin Fors, Affärsutvecklare och produktansvarig på SCA:s stab för teknik & verksamhetsutveckling. Genom ditt engagemang och driv för detta arbete har jag fått den bästa stöttning man kan få. Jag vill också rikta ett tack till Mattias Eriksson, Projektledare på SCA, som bidragit med viktigt engagemang, intresse och tillgänglighet. Särskilt vill jag också tacka Tomas Johannesson, Fältförsökstekniker på Skogforsk, som hjälpt mig att lägga ut och utforma fältförsöket, samt genomfört tidsstudierna som ligger till grund för kostnadsanalyserna i detta arbete. Ditt intresse och stöd har även varit av stor betydelse under hela arbetet med analyserna. Jag vill även tacka övriga medarbetare inom SCA och Skogforsk som på olika sätt bidragit till värdefull hjälp och synpunkter.

Jag vill rikta ett extra stort tack till de entreprenörer (J.Dahlquist Skog AB, Smååkran Maskin AB och Amrén skogsmaskiner AB) som tillhandahöll maskiner och maskinförare. Samtliga maskinförare visade stor kunskap och skicklighet i sitt arbete och jag lärde mig mycket om markberedning från dem, vilket jag är väldigt tacksam över.

På SLU vill jag främst tacka min handledare Urban Bergsten för din goda handledning med viktiga synpunkter och snabba svar. Jag vill även tacka Anders Muszta för hjälpen med statistiska analyser i programmet Minitab.

Sammanfattning

Markberedningsresultat för tvåradig harv, konventionell grävmaskin och skördare med kranspetsmonterat spadliknande markberedningsaggregat (spadförsedd skördare) jämfördes i ett fältförsök i Medelpad omfattande olika terrängsvårigheter i lutning och ytstruktur (lika Grundförhållanden men olika nivåer på Ytstruktur och Lutning, dvs. olika GYL-klasser). Genom en separat studie av markberedningsresultatets betydelse för planterade tallplantors överlevnad och tillväxt efter 10 år (SCA:s fasta provytor från 1998-2003) skapades 10-åriga ungskogskogsbestånd för markberedningsalternativen. Därefter genererades nuvärden för en omloppstid genom framskrivning av volymproduktion i Heureka PlanVis.

Markberedning med grävmaskin resulterade i flest godkända planteringspunkter per ha. På GYL 111 och 123 blev kostnaden per godkänd planteringspunkt, och per hektar, lägst med harv och högst med spadförsedd skördare (> 60 % dyrare). På GYL 134 blev riktade metoder > 50 % billigare jämfört med harv, främst för att harv endast kunde köra i medlut. Minst skillnad i kostnad var på GYL 143. Spadförsedd skördare orsakade klart minst markpåverkan. Skillnaden i antal överlevda huvudstammar per ha efter 10 år var små (<5%) mellan markberedningsalternativen vilket följaktligen resulterade i små skillnader vid skattning av volymproduktion och nettointäkter. Volymproduktion och nettointäkter blev dock något högre för plantering i markberedda planteringspunkter jämfört med plantering i ej markberedda planteringspunkter intill det markberedda vilket indikerar att planteringspunkterna har betydelse för långsiktig virkesproduktion. Det som i studien främst påverkade nuvärdet var kostnaden för markberedningen, dvs. skillnader i metodkostnader avspeglades i nuvärdet.

Resultaten i studien indikerar att vid markberedning i svår terräng (främst avseende lutning) kan riktade markberedningsmetoder vara ett lönsammare alternativ. När konventionell rundkörning kan användas är harvning dock förmodligen mer lönsamt. Om markpåverkan ska beaktas i jämförelsen är riktade markberedningsmetoder fördelaktiga gentemot harvning, i den här studien var markpåverkan från grävmaskin drygt hälften och från spadförsedd skördare endast en femtedel av harvningens påverkan.

Nyckelord: Planteringspunkter, ytstruktur, lutning, överlevnad, tillväxt, Heureka, nuvärde/

Summary

The result of soil scarification with a two-armed disc trencher, a conventional excavator and a harvester with a special crane mounted attachment (Spade harvester) were compared in a field experiment in Medelpad consisting of terrain with different slopes and surface structures. In a separate study the value of the soil scarification in survival and growth of planted seedlings after 10 year were estimated by creating of 10-year stands based of the result in planting spot by the soil scarification in the field experiment. Net present values were then calculated with help of projection of the volume production in Heureka PlanVis.

Soil scarification with excavator resulted in most approved planting spots per hectare. On GYL 111 and 123 (GYL-values describes terrain class) the cost per approved planting spot, and hectare, was cheapest with disc trencher and most expensive with spade harvester (> 60 %), but soil scarification with disc trencher was > 50 % more expensive on rougher terrain class (GYL 134) compared with the other methods, mainly because the disc trenches was only able to work in downward slope. The difference in cost between the different soil scarification methods was smallest on GYL 134. Spade harvester created smallest soil disturbance. The different in number of survived main seedlings per hectare after 10 years was < 5 % between the soil scarification alternatives and so also the difference in volume production and net incomes. The volume production and net incomes were a little bit higher when planting in soil scarification than planting beside the soil scarification, which indicates that the planting spot have significance for the volume production in the long turn. In this study the cost of the soil scarification had most influence on the difference in net present value between the different alternatives.

The results indicates that excavator or spade harvester can be more profitable in rough terrain (especially when inclination is high) than disc trencher, but the disc trencher is probably more profitable when conventional round driving can be used. Spade harvester or excavator are more competitive than disc trencher if soil disturbance is considered.

Keywords: Planting spots, ground roughness, inclination, survival, growth, Heureka, net present value

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund.....	6
1.1.1	Markberedningens inverkan på plantetableringen	6
1.1.2	Val av markberedningsmetod	7
1.1.3	Markpåverkan	7
1.1.4	Markberedningens lönsamhet	8
1.1.5	Motiv för den här studien.....	9
1.2	Syfte och frågeställningar	9
2	Material och metoder	10
2.1	Integrerad studie.....	10
2.2	Fältförsök Markberedning.....	10
2.2.1	Information om använda maskiner.....	10
2.2.2	Försökstrakter	13
2.2.3	Utläggning av parceller	13
2.2.4	Provytekorridorer.....	14
2.2.5	Beskrivning och gradering av planteringspunkter	14
2.2.6	Produktivitet och kostnader för markberedningsmetoderna	15
2.3	Vitalitet och tillväxt efter 10 år.....	16
2.4	Nuvärdesanalyser	17
2.5	Statistiska analyser	18
3	Resultat.....	19
3.1	Fältförsök Markberedning.....	19
3.1.1	Antal planteringspunkter, totalt och godkända	19
3.1.2	Markpåverkan	22
3.1.3	Produktivitet och kostnad för markberedningsmetoderna	23
3.2	Vitalitet och tillväxt för tall 10 år efter planteringsstillfället.....	26
3.2.1	Vitalitet	26
3.2.2	Planthöjd	28
3.2.3	Skogsbestånd vid 10 års ålder	29
3.3	Simulering av volymproduktion i Heureka.....	32
4	Diskussion	37
4.1	Planteringspunkter efter markberedning	37
4.2	Markpåverkan från markberedning.....	38
4.3	Tidsåtgång och kostnad för markberedning.....	38
4.4	Överlevnad och höjdtillväxt beroende på markberedningskvalité.....	39
4.5	Simulering av volymproduktion i Heureka.....	42
5	Slutsatser	43
	Referenser	44

1 Inledning

1.1 Bakgrund

1.1.1 Markberedningens inverkan på plantetableringen

I föröngningsarbetet är markberedning en vanlig åtgärd innan plantering eftersom det i de flesta fall ökar överlevnaden och ger en tidig förbättrad tillväxt för planterade plantor (Örlander et al., 1991; Hallby & Örlander, 2004). Positiva effekter för plantornas produktion verkar finnas kvar efter att beståndet etablerats (Karlsson & Örlander, 2004; Johansson et al., 2013).

Markberedningen har ett flertal effekter på faktorer som påverkar planterade plantornas etableringsmöjligheter. Marktemperaturen höjs av markberedning eftersom humustäcket avlägsnas (Örlander et al., 1991), vilket förbättrar plantrötternas tillväxt och vatten- och näringsupptagningsförmåga (Örlander, 1986). Vid för höga marktemperaturer försämras däremot rötternas tillväxt och vattenupptagningsförmåga till samtidig följd av torka (Örlander & Gemmel, 1989). En positiv effekt av markberedning är att jorden luckras upp och markdensiteten blir lägre (Örlander et al., 1991). Till följd skapas bättre hydrologiska förhållanden för plantetablering (Örlander, 1986) och risken för uppfrysning av nyplanterade plantor minskar (Sahlén & Goulet, 2002). För att en nyligen planterad planta ska överleva är det viktigt med en god vattentillgång utan att plantans rötter drabbas av syrebrist (Örlander, 1986). Plantornas konkurrens om vatten och näringsämnen från annan vegetation minskar med hjälp av markberedning genom att markvegetationen avlägsnas (Örlander & Nilsson, 1999). Om markberedningen utförs på ett sätt att plantering kan ske i förhöjda planteringspunkter kan även risken för uppfrysningsskador minska (Langvall et al., 2001; Heiskanen et al., 2013). Snytbaggen (*Hyllobius abietis*) orsakar stora skador i unga planteringar (Örlander & Nilsson, 1999). Genom att använda en markberedningmetod som skapar planteringspunkter där plantan kan planteras i mineraljord minskar snytbaggesskadorna betydligt (Björklund et al., 2003; Björklund, 2004; Nordlander et al., 2011).

En omvänd torva med mineraljord ovanpå anses idag vara den mest optimala planteringspunkten (Adelsköld & Örlander, 1989) på grund av alla produktionsfaktorer som förbättras för plantan på en sådan punkt (Örlander & Nilsson, 1999; Nordborg 2001; Nordborg et al., 2003). Högläggning är en markberedningsmetod utvecklad för att skapa omvända torvor med mineraljord ovanpå. Det har i ett flertal studier visat sig att högläggning ger bättre plantöverlevnad än harvning och fläckmarkberedning (Saksa et al., 2005; Uotila et al., 2010). Uppluckringen av jorden från markberedning med harvning och fläckmarkberedning är begränsad (Örlander & Gemmel, 1989). Dessutom hamnar planteringspunkterna ofta under markytan, vilket ökar risken för frostsador och syrebrist för plantan (Berg et al., 1981). Det finns däremot en förhöjd risk att nyligen planterade plantor drabbas av torka på en förhöjd planteringsfläck (Örlander & Nilsson, 1999). Genom invers markberedning vänds marktäcket och skapar på så sätt en planteringspunkt i marknivå med liknande egenskaper som en omvänd torva med mineraljord ovanpå (Örlander et al., 1998; Johansson et al., 2007; Nordborg et al., 2003). Invers markberedning har visat sig ge högre överlevnad och tillväxt än högläggning (Hallby & Örlander, 2004; Johansson et al., 2013). Det är dock inte samstämmiga resultat. En planta planterad på en invers markberedningspunkt riskerar att drabbas av uppfrysning i högre grad än en planta planterad på en förhöjd planteringspunkt (Heiskanen et al., 2013). Således kan planteringspunkternas

inverkan på planterade plantors etableringsmöjligheter skilja sig mellan olika ståndorter och jordarter.

1.1.2 Val av markberedningsmetod

Markens egenskaper styr till stor del valet av markberedningsmetod. Faktorer som inverkar kan vara markfuktighet, terrängens lutning, markens bearbetningsmotstånd, bördighet och hinder i terrängen (Lundmark, 2006). De dominerande metoderna för maskinell markberedning är harvning och högläggning. En annan vanlig markberedningsmetod är fläckmarkberedning. Vid harvning skapas kontinuerliga spår, medan högläggning och fläckmarkberedning skapar intermittenta spår i marken (Lundmark, 1988). Ofta utförs markbearbetningen genom att ett kontinuerligt eller intermittent arbetande markberedningsaggregat kontinuerligt dras efter en skogsmaskin. Dragna maskiner har ibland svårigheter att åstadkomma tillräckligt med bra planteringspunkter vid vissa markförhållanden (Lundmark, 2006). Terrängens ytstruktur och lutning påverkar maskinens framkomlighet (Bäcke et al., 1986). Detta resulterar vid svårare förhållanden till ett ökat medelavstånd mellan markberedningsraderna, vilket leder till minskat antal planteringspunkter (Sutherland & Foreman, 1995). Block, sten och stubbar i marken utgör även en stor begränsning för markberedningsaggregatets möjlighet att åstadkomma bra planteringspunkter eftersom markberedningsaggregatet riskerar att slå i hindren på ett sätt att försöket att åstadkomma en planteringspunkt misslyckas (Bäcke et al., 1986, Gullberg, 2002). Harvning kan användas på de flesta ståndorter, även vid riklig stenförekomst. Där harven inte tros åstadkomma tillräckligt med bra planteringspunkter används ofta en riktad markberedningsmetod (Lundmark, 2006). På en riktad markberedningsmetod sitter markberedningsaggregatet på en kranspets till en maskin, oftast en grävmaskin, där föraren aktivt kan styra och välja planteringspunktens placering. Många studier visar att markberedning med grävmaskin ger fler och bättre planteringspunkter jämfört med harv i svår terräng (Berg & Wickström, 1979; Magnusson, 2015). Det finns även exempel på alternativa riktade markberedningsmetoder för kranspetsmonterad markberedningsteknik där annan basmaskin och annorlunda markberedningsaggregat används. Alternativa markberedningstekniker kan vara ett bra komplement till konventionella markberedningsmetoder vid svår terräng eller där marken kräver en skonsam behandlingsmetod (Gullberg, 2002; Roturier, 2010).

1.1.3 Markpåverkan

Markpåverkan skiljer sig mellan olika markberedningsmetoder. Ofta blir markpåverkan betydligt mindre med fläckmarkberedning än vid markberedning med högläggning och harvning (Lundmark, 1988). Effekterna av markberedning ökar ofta med en intensiv markberedningsmetod (Nordborg et al., 2006).

I ett flertal studier har det visat sig att markstörning från skogsbruket påverkar vattenmiljön genom att tillförseln av kvicksilver (både Hg och MeHg), (Bishop et al., 2009; Porvari et al., 2003; Munthe & Hultberg, 2004), sediment och näringsämnen ökar. När humuslagret fläks bort genom markberedning minskar markskiktets kapacitet att binda vatten och näringsämnen (Lundmark, 1988). Hur markberedning påverkar näringsläckaget från hygget har studerats i ett flertal studier med varierande slutsatser. Genom att omsättningen av det organiska materialet ökar och näringsämnen frigörs på grund av markberedning kan näringsförlusterna av framförallt kväve öka (Lundmark, 1988; Vitousek et al., 1992; Johansson., 1994). Däremot fann Ring (1996) inget ökat kväveläckage till följd av markberedning. Markpåverkan vid markberedning bidrar till att öka halterna av kvicksilver och metylkvicksilver i ytvattnet (Eklöf et al., 2014).

Markberedningens intensitet har i studier visat sig ha effekt på den naturliga föryngringen av björk, men även av gran och tall (Karlsson et al., 2001; Uotila et al., 2010). Ett rikt lövuppslag kan få en negativ effekt på överlevnaden, tillväxten och kvalitén för framtida huvudstammar (Nilsson & Gemmel, 1993) på grund av att konkurrensen om bland annat ljus, vatten och näring ökar (Nilsson & Örlander, 1995). Tidsprestationen vid röjning påverkas dessutom av antalet stammar i beståndet (Bergstrand et al., 1986). Det finns många andra faktorer som kan påverka inslaget av naturligt föryngrade plantor och markstörningen är inte alla gånger den avgörande faktorn (Karlsson & Nilsson 2005; Sjögren, 2013).

Markberedning påverkar även skadefrekvensen på forn- och kulturlämningar (Ulfhielm, 2014), samt naturvärdeslågor (liggande grov död ved) på hygget (Magnusson, 2015). I samspelet mellan skogsbruk och rennärning är markberedning ett omdiskuterat ingrepp på skogsmarken. När humuslagret fläks bort och mineraljorden blottas försvåras återetableringen av marklav. Genom att använda en skonsam markberedningsmetod med liten markpåverkan försvinner en mindre andel marklav samtidigt som marklavens återetablering kan påskyndas (Roturier, 2010).

De negativa effekterna på ekologiska, sociala och kulturella värden kan således minska genom att undvika onödig påverkan på markskiktet.

1.1.4 Markberedningens lönsamhet

Markberedning är en kostsam, men viktig åtgärd, för att snabbt etablera ett nytt bestånd efter avverkning (Lundmark, 1988). Åtgärden utförs tidigt i generationskedjan och får en stor påverkan på nuvärdet. Markberedning har i ett flertal studier visat sig öka överlevnaden och tillväxten för planterade plantor (Hansson & Karlman, 1997; Mäkitalo, 1999; Johansson et al., 2007; Johansson, 2013), således är resultaten grundade på relativt korta perioder och liten information om markberedningens återbäring genom hela omloppskedjan finns (Hallsby et al., 2015).

Dessutom finns liten kunskap om hur markberedningen påverkar kostnaderna för plantering och framtida röjning (Uotila, 2010). Enligt en studie av Uotila (2010) blev de totala kostnaderna för plantering och röjning lägre efter markberedning med högläggning jämfört med harvning. Detta på grund av att andelen lövstammar blev lägre vid markberedning med grävmaskin än harv eftersom harv skapade en bättre gröningsbädd för björkfrön att etablera sig. Däremot är det svårt att avgöra röjningskostnaderna efter markberedningen eftersom många andra faktorer är mer avgörande (Karlsson & Nilsson, 2005). Indikationer finns däremot att olika markberedningsmetoder påverkar kostnader för plantering och röjning på olika sätt (Uotila, 2010).

Ett utfört föryngringsarbete med markberedning och manuell plantering resulterar oftast till högre volymproduktion än vid naturlig föryngring utan markberedning (Hallsby et al., 2015). Beståndets totala volymproduktion tenderar att bli högre vid intensivare markberedningsmetod (Mattson & Bergsten, 2003, Nordborg et al., 2006). En markberedningsmetod som skapar bättre planteringspunkter för trädslaget och ståndorten kan däremot vara mer lönsam på grund av högre överlevnad och tillväxt för de planterade plantorna (Uotila, 2010). Indikationer finns dock på att ett intensivt föryngringsarbete inte alltid genererar högre volymproduktion och lönsamhet (Hallsby et al., 2015). Effekterna från markberedning kan variera mellan olika ståndorter, trädslag och olika markberedningsmetoder (Mäkitalo, 1999; Saksa et al., 2005; Uotila, 2010; Johansson et al., 2013). På grund av hög skadefrekvens på planterade plantor och hög andel naturligt

föryngrade plantor i unga bestånd kan effekterna från markberedning och plantering ibland vara överskattade (Hallsby et al., 2015). Således efterfrågas ökad kunskap om olika markberedningsmetoders och maskiners prestationer och kostnader på olika ståndorter i relation till dess framtida genererade värde i skogsproduktionen.

1.1.5 Motiv för den här studien

I denna studie jämförs resultatet i antal planteringspunkter, markpåverkan, effektivitet och kostnad efter tre olika maskinella markberedningsmetoder på fyra olika terrängklasser. Eftersom studien gjorts med samma maskiner/metoder på samma trakter med i största möjligaste mån lika förutsättningar inom varje terrängklass skiljer sig studien mot andra studier där markberedningsmetoder jämförts (Berg & Wickström, 1979; Gullberg 2002). En skillnad mot andra studier där markberedningsmetoderna kört på samma trakter är att resultatet i antal planteringspunkter ställs mot kostnaden (Magnusson, 2015). En ytterligare skillnad mot andra studier är att markberedningsresultatet i antal och typ av planteringspunkter kopplas till en prognostiserad överlevnad och tillväxt baserad på tidigare inventerade data för de olika metoderna/planteringspunkterna (Uotila, 2010; Johansson, 2013). Överlevnaden och tillväxten per planteringspunkt sammanställdes från SCA:s fasta provytor med plantor planterade mellan åren 1998-2003.

Slutligen studeras och jämförs markberedningens betydelse för den slutgiltiga volymproduktionen. Detta genom att prognostisera ungskogsbestånd utifrån markberedningsmetodernas prestation i planteringspunkter. Ungskogsbestånden simulerades fram i Heureka under en 100-årig period där optimal omloppstid analyseras. Därefter jämförs kostnaderna för var markberedning med det slutgiltiga nuvärdet. Resultaten jämförs även med om plantering hade skett utanför de åstadkomna planteringspunkterna, dvs. i ej markberedda planteringspunkter intill där markberedning skett.

1.2 Syfte och frågeställningar

Studiens syfte var att jämföra markberedningsmetoderna harvning, grävmaskin och spadförsedd skördare på marker med god bärighet men varierande svårighetsgrader i ytstruktur och lutning. Jämförelsen avsåg kostnadseffektivitet, markberedningsresultat och markpåverkan vid markberedningstillfället, samt förväntad avkastning (slutavverkad volym och nuvärdet) under en omloppstid baserad på prognostiserad överlevnad och tillväxt för plantor som planterats i olika planteringspunkter.

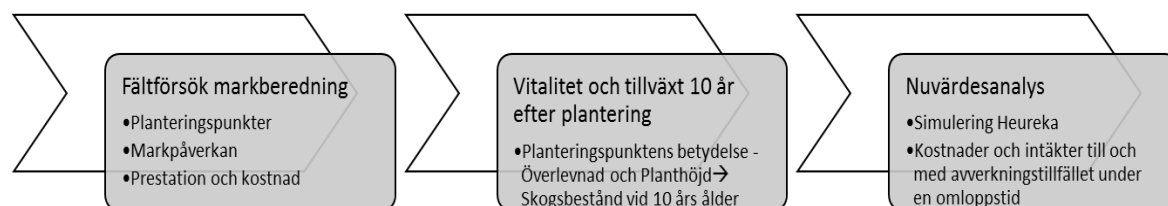
Frågeställningarna var:

1. Hur många planteringspunkter per hektar åstadkommer de undersökta markberedningsmetoderna?
2. Vad är kostnaden per planteringspunkt för de undersökta markberedningsmetoderna?
3. Vilken markpåverkan orsakar de undersökta markberedningsmetoderna?
4. Vilken inverkan på överlevnad och tillväxt på planterade plantor har antal skapade planteringspunkter per hektar från markberedningen?
5. Hur inverkar de undersökta markberedningsmetoderna på förväntad avkastning under en omloppstid?

2 Material och metoder

2.1 Integrerad studie

Studien bestod av tre delar (Figur 1). Den första delen var ett fältförsök där resultatet i planteringspunkter, markpåverkan och produktivitet för markberedningsmetoderna mättes. I den andra delen beräknades preliminära ungskogsbestånd utifrån markberedningsresultatet i antal och typ av planteringspunkter. I den tredje delen simulerades ungskogsbestånden fram i Heureka under en omloppstid.



Figur 1. Studiens olika delar

Figure 1. The different parts in the study

2.2 Fältförsök Markberedning

I "Fältförsök Markberedning" jämfördes tre olika maskinella markberedningsmetoder på fyra olika terrängförhållanden. Jämförelsen avsåg markberedningsresultatet av totalt och godkänt antal planteringspunkter, markpåverkan och produktivitet/kostnader.

2.2.1 Information om använda maskiner

2.2.1.1 *Spadförsedd skördare*

Basmaskinen var en skördare med ett egentillverkat markberedningsaggregat monterat på kranspetsen (Tabell 1, Bild 1). Aggregatets arbetsprincip var att med en tvärställd grävplåt fläka bort humuslagret. Mestadels arbetade maskinen genom fläckmarkberedning, men kunde i några fall höglägga torvor med mineraljord ovanpå. Föraren arbetade vanligtvis i ett mönster från full kranlängd och in mot maskinen och gjorde under denna sträcka normalt två markberedningsförsök. Detta upprepades vid varje uppställning i ett 180 graders arbetsmönster varefter maskinen förflyttades till nästa uppställningsplats. Den vertikala nedåtriktade kraften utgjordes av kranens vikt. Föraren kunde vid behov minska den kraften genom att lyfta kranspetsen något.

Aggregatets grävplåt hade en bredd om 28 cm och var förstärkt med två grävmaskinständer. Vid grävplåtens infästning fanns en hydraulcylinder monterad i syfte att hålla rätt arbetsvinkel på grävplåten, samt för att fungera som stötdämpare.

Under studien kördes maskinen av en förare med tidigare erfarenhet av att markbereda med maskinen. Föraren hade dock haft ett års uppehåll från att markbereda när studien genomfördes.

2.2.1.2 *Grävmaskin*

Grävmaskinen var något större (26 ton) än vad som normalt används vid markberedning och var därför starkare och stabilare än normalt. För förbättrad bandstyrning och dragkraft i

terrängen hade stödrullar och bandplattor med förhöjda broddar monterats. Maskinen var utrustad med en 85 cm bred standardskopa. Föraren i maskinen hade många års erfarenhet av att markbereda i blockrik terräng (Tabell 1, Bild 2).

2.2.1.3 Harv

Basmaskinen var utrustad med ett Bracke T26 markberedningsaggregat för harvning. Vid studien fick föraren själv välja aggregatinställningar för att uppnå bästa resultat. Föraren valde att aktivt växla mellan olika förinställda vertikala krafter anpassade efter olika markförhållanden. Vinklar och rotationshastighet hölls dock oförändrat. Föraren i maskinen hade många års erfarenhet av markberedning med harv (Tabell 1, Bild 3).



Bild 1. Spadförsedd skördare

Picture 1. Harvester with a special crane mounted attachment (*Spade harvester*).



Bild 2. Grävmaskin
Picture 2. Excavator



Bild 3. Två-radig harv.
Picture 3. Two-armed disc trencher.

Tabell 1. Använda markberedningsmaskiner.

Table 1. Used machines.

Metod	Basmaskin	Hjul/bandutr.
Spadförsedd skördare	Komatsu 931	6 hjul
Grävmaskin	Hyundai 250 LC-9	Bandgående
Harv	JD 1910/Bracke T26	8 hjul

2.2.2 Försökstrakter

Studien genomfördes i Medelpad i början av september 2015. Markvärd för studien var SCA Skog AB och försöken genomfördes på två olika trakter med benämningarna Skälsjön och Mjösjön. Nio stycken parceller var förlagda till trakten vid Skälsjön och tre parceller förlagda till trakten vid Mjösjön. De olika parcellerna planerades veckorna före studien och mättes in med målet att finna fyra olika terrängförhållanden (Tabell 2). Studien lades upp med syfte att kunna jämföra tre olika maskiner som samtliga arbetar med helt eller delvis skilda metoder.

Tabell 2. Svårighetsgrad i blockighet och terrängförhållande inom de olika parcellerna. GYL anger klass för Grundförhållanden, Ytstruktur och Lutning (Berg, 1995).

Table 2. Terrain types in the different parcels.

Trakt	Parcell.nr.	Terrängklass (GYL)	Blockighet i marken (B)
Skälsjön	8, 9, 10	111	4
Skälsjön	5, 6, 7	123	5
Skälsjön	2, 3, 4	134	5
Mjösjön	11, 12, 13	143	5

Ambitionen var att skapa tre stycken lika och homogena parceller inom fyra olika svåra terrängförhållanden (Tabell 2). Försöket genomfördes som ett blockförsök med 4 olika försöksblock uppdelade på tolv parceller med areal 0,17 - 0,25 ha vardera. Tre block placerades inom trakten med benämningen Skälsjön och ett inom trakten med benämningen Mjösjön. Varje block innehöll tre parceller med jämförbara mark- och terrängförutsättningar.

2.2.3 Utläggning av parceller

För att hitta möjliga parceller till studien lades 2-3 cirkelprovytor med radien 5,64 m ut inom områden på trakterna som kunde vara lämpliga för parcellutlägg. Inom cirkelprovytorna uppskattades hinderförekomst i antalet stubbar (Y stubb) och stenar/block ovan mark (Y sten) inom varje höjdklass enligt "Terrängtypschema för skogsarbete" (Berg, 1995). Enligt samma schema uppskattades även blockigheten (B) genom att göra nedstick i marken med en jordsond. Antalet nedstick som träffade block eller sten ned till 20 cm från markytan dividerades med antalet nedstick (Berg, 1995). Lutningen (L) uppskattades inom de möjliga

områdena för parcellutlägg med en höjdmätare. Samtliga parceller var placerade på områden med grundförhållande (G) klass 1 enligt terrängtypschemat och på torr till frisk mark av typen sandig-moig morän.

När områden med lämpliga mark- och terrängförutsättningar hade hittats markerades parcellerna ut med snitslar och tydligt målade stolpar i hörnen. Parcellerna formades i möjligaste mån för att följa terrängen och maskinernas ordinarie arbetsmönster. Därefter mättes parcellernas yttergränser in med GPS.

Lutningarna (L) beräknades slutgiltigt genom att höjdskillnaden mättes i parcellernas fyra hörn. Varje parcell klassindelades i enlighet med terrängtypschemat. Efter inventeringen i provytekorriderorna (se förklaring nedan) lottades parcellerna ut till respektive markberedningsmetod.

Efter försöket kontrollmättes och korrigerades arealen efter maskinernas körstråk inom varje parcell.

2.2.4 Provytekorrideror

Inom varje parcell placerades 5-9 provytekorrideror. Provytekorriderorna var tre meter breda och sträckte sig vinkelrätt över parcellerna. Arean på provytekorriderorna varierade med parcellens bredd där provytekorriderorna placerades. Antal provytekorrideror och avståndet mellan dem anpassades i varje parcell till att minst uppta 25 % av parcellens totala inmätta area. Provytekorriderornas placering markerades på parcellernas långsidor med snitslar.

Inom samtliga provytekorrideror dokumenterades ytstruktur (Y sten, Y stubbar) och blockkvot (B) enligt Bergs (1995) terrängtypschema. Hinder innanför eller på provytekorriderans ytterkanter räknades med i dokumentationen om ytstruktur. För sammanlagd ytstruktur (Y summa) summerades antalet hinder i varje höjdklass från Y sten och Y stubbar. Provytekorriderornas medelvärden inom varje parcell användes för att avgöra parcellernas Y och B (Tabell 2).

Inom samma provytekorrideror mättes antal planteringspunkter som markberedningsmetoderna skapade i försöket. Alla planteringspunkter (Tabell 3) räknades inom samtliga provytekorrideror med restriktionen om att avståndet mellan två möjliga planteringspunkter inte fick understiga 1 meter. Vid flera val av planteringspunkter inom en meter valdes den bästa planteringspunkten enligt kvalitetsgraderingen (Tabell 3). En jordsond användes genom att göra nedstick i varje vald planteringspunkt för att bedöma om plantering kunde ske. Planteringspunkten registrerades om det bedömdes vara möjligt att plantera en planta i den och om den var placerad innanför eller på provytekorriderans ytterkanter. Vid inventeringen av antalet planteringspunkter placerades ett måttband ut på centrumlinjen mellan provytekorriderans fasta punkter. Provytekorriderornas längd korrigerades till det område som maskinen kört inom parcellen och mättes exakt med hjälp av måttbandet. En tre meter lång mätpinne med markering i mitten för provytans centrumlinje användes för att mäta om en planteringspunkt tillhörde provytekorrideran och skulle registreras.

2.2.5 Beskrivning och gradering av planteringspunkter

Planteringspunkterna delades upp i klasser enligt de kriterier som används inom skogsbolagen för markberedning och plantering (Tabell 3).

Tabell 3. Klassificering av planteringspunkter för markberedning och plantering på frisk och torr mark.
Table 3. Classification of the planting spots' suitability for soil scarification and planting.

Planterings- punkt	Kvalitet	Beskrivning
Optimal mineralhög	Godkänd	Omvänd torva med mineraljord ovanpå, cirkelradie med mineraljord ≥ 10 cm till humuskant och ≥ 3 cm lager mineraljord.
Mineralhög	Godkänd	Omvänd torva med mineraljord ovanpå, cirkelradie med mineraljord $\geq 5-10$ cm till humuskant och ≥ 10 från opåverkat.
Mineraljords- fläck	Godkänd	Fläck dominerad av mineraljord med cirkelradie ≥ 10 cm från humuskant och opåverkat.
Omvänd torva	Ej godkänd	Omvänd torva med eller utan mineraljord och ≥ 10 från opåverkat.
Humusfläck	Ej godkänd	Fläck dominerad av humus och ≥ 10 från opåverkat.

2.2.6 Produktivitet och kostnader för markberedningsmetoderna

Maskinerna tidsstuderades med hjälp av Allegro handdator och mjukvara framtagen för tidsstudier. Arbetscyklerna indelades i olika arbetsmoment. För harv var arbetsmomenten ”markberedning” och ”tid för vändning” (dvs. då maskinen inte markberedde). Vändningarna skedde utanför parcellerna. För grävmaskin och spadförsedd skördare var arbetsmomenten ”markberedning” och förflyttning. Här räknades också antalet krancykler och markberedningsförsök.

Kostnaderna för markberedningen beräknades med hjälp av tidsåtgången, dvs. hur lång tid det tog för varje markberedningsmetod att markbereda en hektar inom varje terrängklass. Som grund användes maskinkalkylkostnader (kr/h) från SCA där maskinprestationen ändrats i grundkalkylerna (1440 - 1532 kr/timme för harv, 985-1024 kr/timme för grävmaskin och 1033 - 1072 kr/timme för spadförsedd skördare). Kostnaderna för markberedning presenterades per hektar och per planteringspunkt (Godkänt antal och totalt antal planteringspunkter).

När harven behövde rundköra, dvs köra en längre sträcka utan markberedning användes denna formel för att räkna ut brytpunkten för hur lång rundkörningssträcka behövde vara för att någon av de riktade metoderna skulle vara mer lönsam:

Kostnad harv = kalkylkostnader kr/ ha \times (meter rundkörning per rundkörning \times antal rundkörningar \times cmin/rundkörningsmeter \times meter markberedningsstråk per markberedningsstråk \times antal markberedningsstråk \times cmin/meter markberedning) / parcellens areal i hektar.

Ekvationen för brytpunkt mellan harv och grävmaskin, samt harv och spadförsedd skördare beräknades genom att bestämma antal meter rundkörning per rundkörning då kostnaden för harv var lika med kostnad för grävmaskin respektive spadförsedd skördare. Därefter dividerades antal meter rundkörning per rundkörning med antal meter markberedningsstråk.

2.3 Vitalitet och tillväxt efter 10 år

I delen "Vitalitet och tillväxt 10 år efter plantering" användes befintliga 10-åriga data angående planterade plantors överlevnad och tillväxt på olika planteringspunkter, ytstrukturklasser och markberedningsmetoder från SCA:s fasta provytor. Utifrån 10-årsdata prognostiserades ungskogsbestånd för varje markberedningsmetod och terrängförhållande utifrån resultatet i "Fältförsök markberedning".

De plantdata som användes som underlag bestod av en delmängd från SCA:s projekt "Fasta provytor". SCA:s "Fasta provytor" består av utlottade planterade trakter över hela bolagets förvaltningsområde. Trakterna som användes till delmängden var planterade mellan åren 1998-2003. Delmängden bestod av plantor av trädslaget tall planterade manuellt på någon av planteringspunkterna enligt Tabell 3 eller på Ej markberett efter tidigare utförd markberedning med antingen harvning, högläggning eller fläckmarkberedning. Ett ytterligare kriterium var att plantorna i delmängden hade inventerats både tre och tio år efter planteringstillfället.

Bearbetning av data gjordes för att undersöka planteringspunktens betydelse för plantornas överlevnad. På provytenivå delades plantorna in beroende på svårighetsgrad i ytstrukturklass och markberedningsmetod. På enskild plantnivå delades plantorna upp beroende på vilken typ av planteringspunkt plantan var placerad i (Tabell 3 och Ej markberedd punkt). Ytstrukturklasserna var registrerade enligt klassificeringen i terrängtypschemat (Berg, 1995) och delades i databearbetningen upp i två klasser. Mindre svår ytstruktur innehållande ytstrukturklasserna 1 och 2, samt svårare ytstruktur innehållande ytstrukturklass 3 eller svårare. Bearbetningen gjordes i tre typer av uppdelningar där alla utgick från uppdelning per planteringspunkt (Tabell 3 och Ej markberedd punkt). Den första uppdelningen gjordes för samtliga plantor (Kategori "Samtliga"), den andra gjordes uppdelad på ytstruktur (Kategori "Ytstruktur") och den tredje gjordes uppdelad på den markberedningsmetod som skapat planteringspunkterna (Kategori "Markberedningsmetod"). Planthöjden analyserades för de friska plantorna vid 10 år efter planteringen uppdelat på planteringspunkt (Tabell 3 och Ej markberedd punkt), ytstruktur och markberedningsmetod.

Registrerad information om plantornas vitalitet tre och tio år efter planteringstillfället beräknades som procentandelen överlevda möjliga huvudstammar för varje planteringspunkt. Som överlevda möjliga huvudstammar räknades friska och lätt skadade plantor. Överlevda huvudstammar per planteringspunkt tre år efter planteringstillfället subtraherades med medelandelen i avgång mellan tre till tio år efter planteringstillfället. Som avgång räknades döda, saknade och svårt skadade plantor.

Därefter beräknades prognoser för varje markberedningsmetods resultat i fältförsöket utifrån varje planteringspunkts andel överlevda huvudstammar år 10 baserad från kategori "Samtliga". Prognoserna gjordes för ståndortsindex T 23 och ståndortsindex T 19 vilket medförde, enligt SCA:s rutiner, att planteringsmålet bestämdes till 2300 resp. 1900 plantor per hektar. Det antogs att tallplantor i första hand planterades i godkända planteringspunkter,

därefter i Ej godkända planteringspunkter och om nödvändigt i Ej markberedda punkter för att uppfylla planteringsmålet.

Medelhöjden för de prognostiserade plantbestånden beräknades genom följande formel:

$$\text{Höjd} = (\text{Höjd}_{(\text{mb})} \times \text{Antal}_{(\text{mb})} + \text{Höjd}_{(\text{Ej mb})} \times \text{Antal}_{(\text{Ej mb})}) / \text{Planteringsmålet}$$

Där Höjd_(mb) var medelhöjden för plantor planterade på markberedda planteringspunkter och Höjd_(Ej mb) var medelhöjden för plantor planterade på Ej markberedda planteringspunkter. Antal_(mb) var antalet plantor planterade på planteringspunkt skapad av markberedning och Antal_(Ej mb) var antalet plantor planterade på ej markberedd planteringspunkt utanför, men intill, markberedningen för att uppfylla planteringsmålet.

2.4 Nuvärdesanalyser

Nuvärdet under en omloppstid analyserades genom att simulera de prognostiserade ungskogsbeståndens volymproduktion i Heureka.

Ett beståndsregister byggdes upp utifrån planteringsmålen för 2300 och 1900 planterade plantor. Bestånden simulerades efter sista röjning och indatat var baserat på antaganden om beståndets utseende efter slutröjning. Antalet tallstammar efter slutröjning antogs vara enligt den beräknade prognosen. Resterande stammar utgjordes av björk baserat på rekommenderat totala stamantal av samtliga trädslag efter slutröjning (SCA 2012). För SI 23 sattes det totala stamantalet efter slutröjning till 2300 (något högre än rekommenderat) och för SI 19 till 1900. Medelhöjden för tallstammarna antogs vara enligt de beräknade prognoserna för planthöjderna. För björkstammarna sattes en medelhöjd på 2,8 meter. Värdena överfördes till en CSV-fil för att kunna exporteras till Heureka. Eftersom plantorna i datamängden var 1 år när de planterades bestod det importerade beståndsregistret av ungskog på 11 år.

För simuleringen i Heureka skapades två domäner, en för varje ståndortsindex. Domänerna ställdes in med olika skötselprogram där bestånden med SI 23 gallrades två gånger medan bestånden med SI 19 gallrades enbart en gång under omloppstiden. I övrigt användes standardinställningarna.

I Heureka simulerades skogsbestånden över en 100-årsperiod och det alternativ med högst nuvärde för varje skogsbestånd analyserades vidare. Kostnader och intäkter till och med slutavverkningen från Heureka räknades med i nuvärdesanalysen genom att diskontera dessa värden till år 0 med den aktuella kalkylräntan. De kalkylräntor som användes i analyserna var 1 och 3 %.

Kostnaden per hektar för varje markberedningsmetod och terrängklass drogs därefter bort från de diskonterade värdena. Kostnaderna baserades på markberedningsmetodernas timprestation per hektar på de olika terrängklasserna och maskinkalkylkostnader (kr/h) enligt SCA:s kalkyler (dock ändrade från grundkalkylen). Kostnader för plantering sattes till 4000 kr/ha och för röjning 2000 kr/ha för samtliga nuvärdesanalyser, dvs. det bedömdes att kostnaden var lika för de tre markberedningsmetoderna. Röjningen utfördes vid en beståndsålder på sju år.

2.5 Statistiska analyser

Statistikprogrammet Minitab användes för att undersöka om det fanns några signifikanta skillnader i godkänt antal planteringspunkter/ha, totalt antal planteringspunkter/ha och andelen godkänt antal planteringspunkter av totalt antal planteringspunkter mellan de tre markberedningsmetoderna och mellan de fyra terrängklasserna. ANOVA (Analysis of Variance) General Linear Model användes för att undersöka om det fanns statistiskt signifikanta skillnader. Modellen som skapades i modellverktyget såg ut enligt följande.

$$Y = \mu + \text{Markberedningsmetod}_{(1-3)} + \text{Terrängförhållande}_{(1-4)} + \text{Error}$$

Responsvariablerna (Y) som användes var "godkända planteringspunkter/ha", "totalt antal planteringspunkter/ha", "andelen godkända planteringspunkter/ha av totalt antalet planteringspunkter/ha", "markpåverkan i procent" och "markpåverkan per planteringspunkt i m²". μ = generellt medelvärde ("grand mean"). Error = tillfällig slumpmässig avvikelse.

Turkeys test användes för att jämföra resultatet för markberedningsmetod och terrängförhållande där p-värden, den justerade förklaringsgraden och gruppinformationerna avlästes. Som gräns för statistiskt signifikant skillnad användes p-värde $\leq 0,05$. Kraven för att resultatet från ANOVA GLM skulle kunna användas var att insamlade data hade oberoende residualer, konstant varians och gärna normalfördelning. Att resultaten var användbara kontrollerades med hjälp av grafer. Det viktigaste kravet var att residualerna skulle vara oberoende och detta kontrollerades med residual plots.

På liknande sätt undersöktes om det fanns statistiskt signifikant skillnad mellan de olika planteringspunkternas planthöjd 10 år efter planteringsstillfället. Analyserna för planthöjden gjordes enbart på friska plantor. Modellen som skapades i modellverktyget såg ut enligt följande.

$$Y = \mu + \text{Planteringspunkt}_{(1-6)} + \text{Ytstruktur}_{(1-2)} + \text{Markberedningsmetod}_{(1-3)} + \text{Error}$$

Som responsvariabel (Y) användes varje enskild plantas höjd år 10. μ = generellt medelvärde ("grand mean"). Error = tillfällig slumpmässig avvikelse.

För prognoserna undersöktes om det fanns statistiskt signifikant skillnad mellan de olika stamantalen som prognostiserats för de olika markberedningsmetoderna och terrängklasserna. Modellen som användes var enligt följande

$$Y = \mu + \text{Markberedningsmetod}_{(1-3)} + \text{Terrängförhållande}_{(1-2)} + \text{Error}$$

Responsvariabel (Y) var prognostiserat antal överlevda huvudstammar år 10.

3 Resultat

3.1 Fältförsök Markberedning

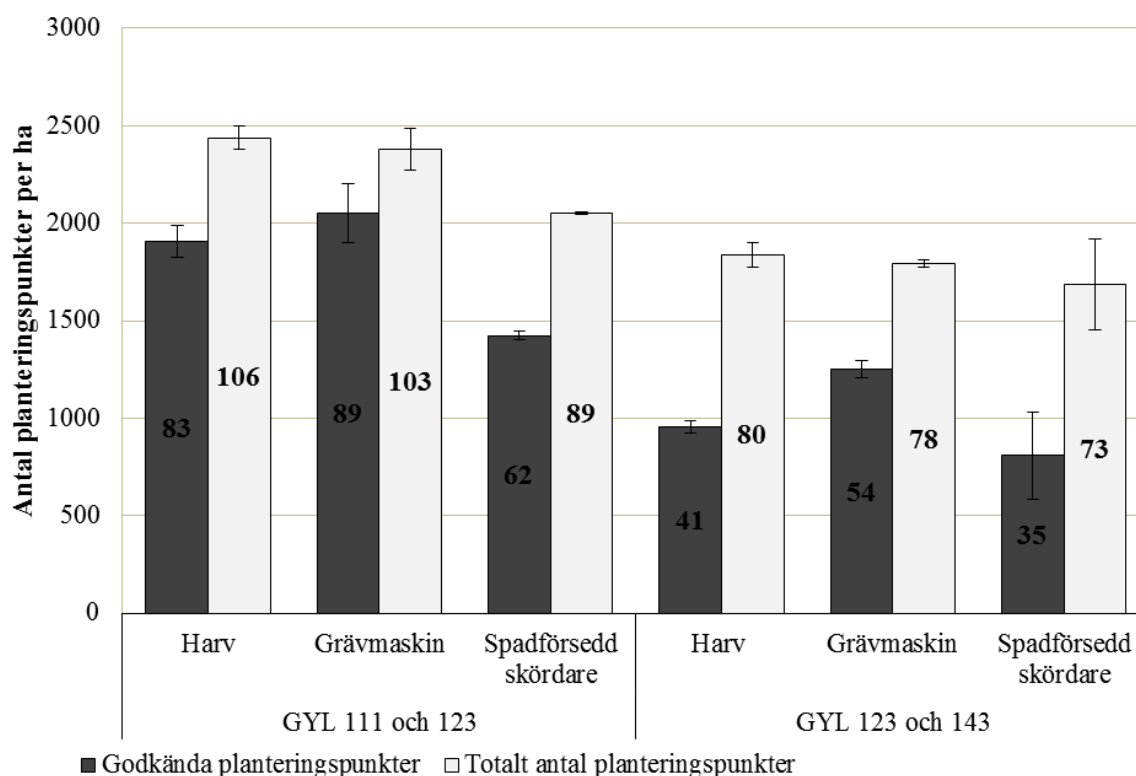
3.1.1 Antal planteringspunkter, totalt och godkända

Ingen av markberedningsmetoderna uppnådde målet på 2300 godkända planteringspunkter per hektar på någon av de studerade terrängklasserna. På de mindre svåra terrängklasserna (GYL 123 och 143) uppnådde både grävmaskin och harv målet om det totala antalet planteringspunkter räknades med i resultatet.

De statistiska analyserna visade inte på någon signifikant skillnad mellan terrängklass GYL 111 och 123 i antalet godkända planteringspunkter per hektar, detsamma visades för totalt antalet planteringspunkter per hektar. Mellan terrängklasserna GYL 134 och 143 påvisades heller inga signifikanta skillnader, varken för resultatet i antal godkända planteringspunkter per hektar eller totala antalet planteringspunkter per hektar. Det fanns däremot signifikant skillnad mellan terrängklasserna GYL 111 och 123 jämfört med terrängklasserna GYL 134 och 143. Utifrån de statistiska resultaten kunde terrängklasserna betraktas som mindre svåra och svårare terrängklasser, där terrängklasserna GYL 111 & 123 ingick i den mindre svåra och terrängklasserna GYL 134 & 143 ingick i den svårare klassen (Figur 2). Mellan terrängklass GYL 111 och 134 visades inte signifikant skillnad i resultatet för totala antalet planteringspunkter, däremot var p-värdet mycket nära vald signifikansnivå (p-värde = 0,056).

Markberedning med grävmaskin skapade flest och spadförsedd skördare minst antal godkända planteringspunkter på samtliga terrängklasser som studerades. De statistiska analyserna visade på signifikant skillnad i resultatet av godkända planteringspunkter mellan grävmaskin och ”spadförsedd skördare” sett över alla terrängklasserna. Signifikant skillnad kunde inte påvisas i resultatet av godkända planteringspunkter från harv jämfört med de andra två markberedningsmetoderna. Resultatet i totalt antal planteringspunkter visade inte på någon signifikant skillnad mellan någon av markberedningsmetoderna sett över alla terrängklasserna.

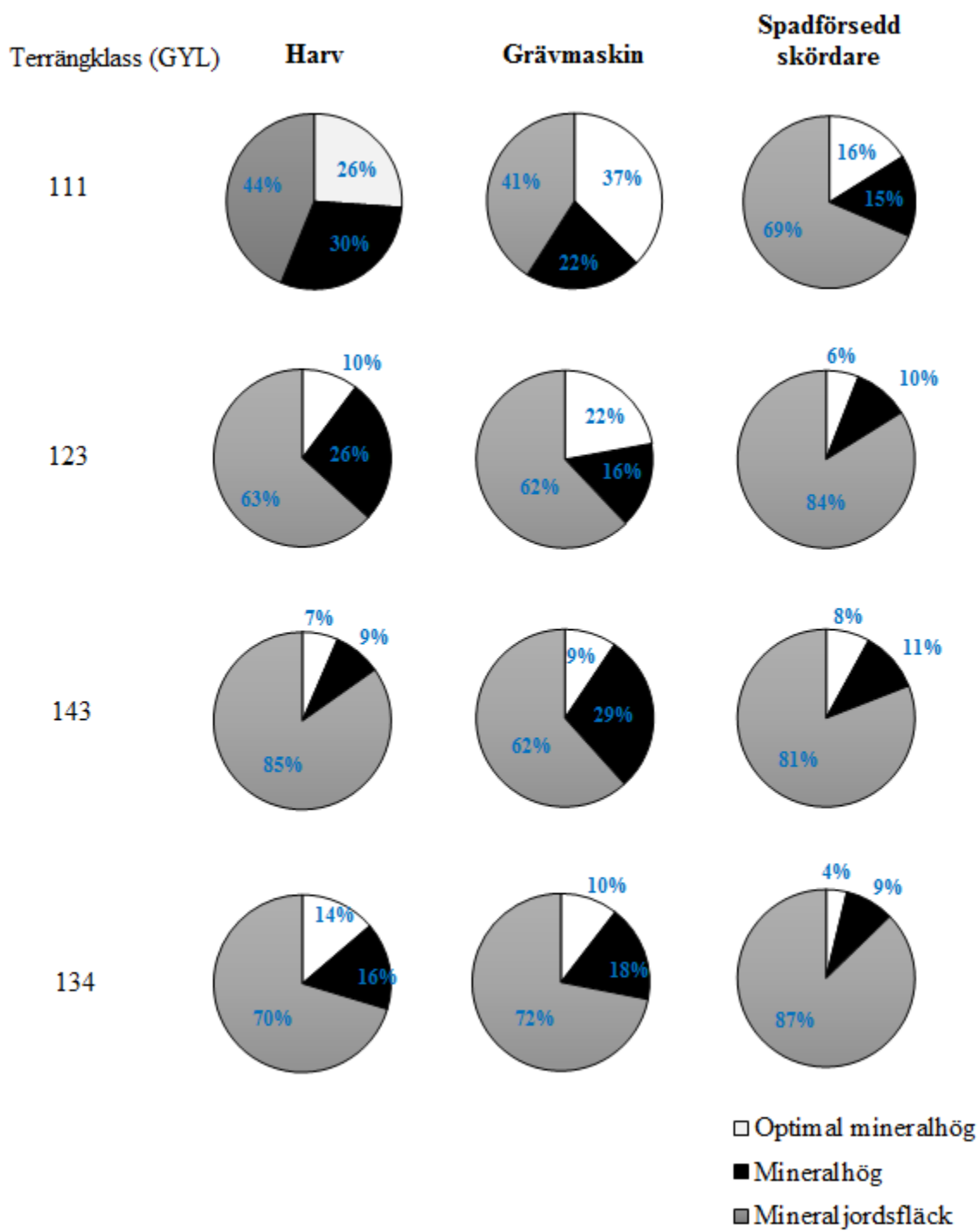
Gällande terrängklasserna visade resultatet i andelen godkända planteringspunkter av totalt antal planteringspunkter på liknande signifikanser som för resultatet av godkända och totalt antal planteringspunkter per hektar. På mindre svår terrängklass var andelen godkända planteringspunkter av totalt antal planteringspunkter 75 % och på svårare terrängklass 56 % sett över samtliga markberedningsmetoder. Signifikant skillnad fanns mellan grävmaskin och de andra två markberedningsmetoderna. Harv och ”spadförsedd skördare” visade ingen signifikant skillnad i de statistiska analyserna. Andelen godkända planteringspunkter av totalt antal planteringspunkter sett över alla terrängklasserna var för harv 65 %, grävmaskin 78 % och spadförsedd skördare 58 %.



Figur 2. Markberedningsmetodernas resultat i antal skapade planteringspunkter per hektar (+/- variationsvidd) för varje terrängklass. Inom staplarna anges måluppfyllnad i procent.

Figure 2. Result in number of planting spots per hectare (+/- variation range) created from the soil scarification machines on easier and harder roughness in the terrain. Values in the bars show goal achieved in percent.

De olika markberedningsmetoderna hade olika fördelning på typ av skapade godkända planteringspunkter. Harv och grävmaskin skapade en större andel omvända torvor med mineraljord ovanpå jämfört med spadförsedd skördare vilket var självklart eftersom den spadförsedda skördarens arbetssätt är att skrapa i marken för att skapa mineralfläckar. Mellan grävmaskin och harv gick det inte att urskilja några skillnader i fördelningen av skapade godkända planteringspunkter. På alla terrängklasser utom GYL 134 skapade grävmaskinen dock en högre andel optimala mineralhögar jämfört med harven (Figur 3). Det är däremot ett resultat som inte säkerställs statistiskt i denna studie.



Figur 3. Fördelning av godkända planteringspunkter.
Figure 3. Distribution of approved planting spots.

3.1.2 Markpåverkan

Det var stora skillnader i hur de olika metoderna påverkar markskiktet. Den markberedningsmetod som orsakade lägst markpåverkan var spadförsedd skördare medan harv påverkade markskiktet mest i areal (Tabell 4).

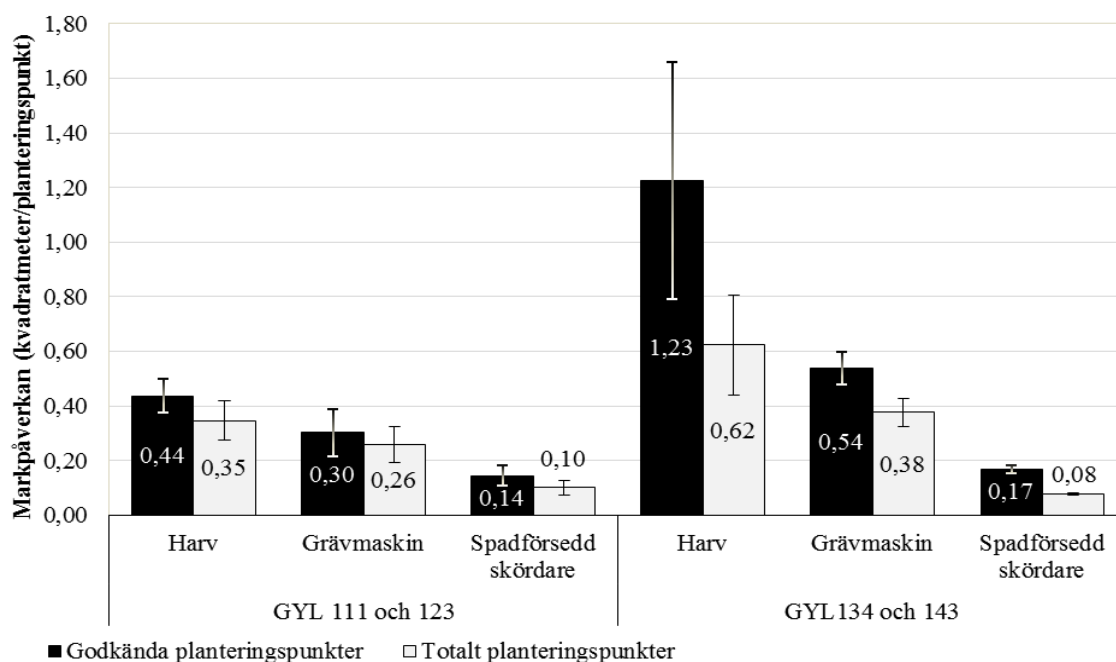
Tabell 4. Markpåverkan (%) per markberedningsmetod och terrängklass.

Table 4. Soil disturbance (%) for the different soil scarification methods and terrain classes.

Terrängklass GYL	Harv	Grävmaskin	Spadförsedd skördare	Medelvärde
111	43	37	11	30
123	58	29	9	32
134	51	39	14	35
143	64	31	7	34
<i>Medelvärde</i>	<i>54</i>	<i>34</i>	<i>10</i>	<i>33</i>

De statistiska analyserna visade att det fanns signifikanta skillnader mellan alla tre markberedningsmetoder, däremot fanns inga signifikanta skillnader mellan terrängklasserna. I genomsnitt var markpåverkan från harv fem gånger större än påverkan från spadförsedd skördare.

Även markpåverkan per planteringspunkt visade på stora skillnader mellan markberedningsmetoderna. Harven hade störst markpåverkan per planteringspunkt och spaden minst på samtliga terrängklasser (Figur 4). Ingen statistisk signifikant skillnad fanns i markpåverkan per planteringspunkt mellan harv och grävmaskin på mindre svår terrängklass.



Figur 4. Markberedningsmetodernas markpåverkan i kvadratmeter per planteringspunkt (godkända och totalt antal) (+/- variationsvidd).

Figure 4. Soil disturbance in square meters per planting spot (approved and total) (+/- variation range).

3.1.3 Produktivitet och kostnad för markberedningsmetoderna

Harven hade högst produktivitet i antal hektar per timme i terrängklasserna GYL 111 och GYL 123. Produktiviteten för harv blev relativt låg i den parcell där terrängklassen var GYL 143. På grund av den höga lutningsklassen (4) var det nödvändigt för harven att rundköra en stäcka på 380 meter mellan varje markberedningsstråk på 55 meter. En stor del av den totala produktiviteten togs därför upp av tid för rundkörning. Markberedning med spadförsedd skördare resulterade i bättre produktivitet i hektar per timme vid högre lutnings- och ytstruktursklass (GYL 134 och 143). Produktiviteten för grävmaskin var relativt jämn över alla terrängklasserna (Tabell 5).

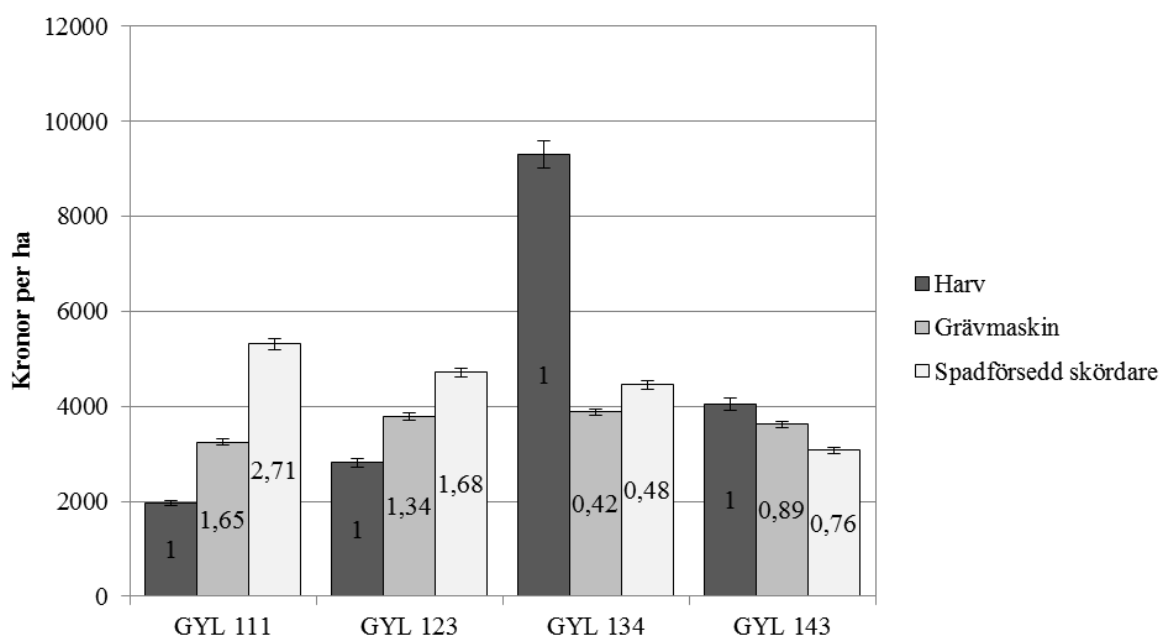
Tabell 5. Produktivitet i antal hektar i timmen för markberedningsmetoderna på de olika terrängklasserna i fältförsöket.

Table 5. Performance in hour per hectare for the soil scarification methods on the different difficulty classes.

Terrängklass GYL	Harv	Grävmaskin	Spadförsedd skördare
	Endast markberedning	Markberedning med vändning och rundkörning	
111	1,30	0,76	0,31
123	0,88	0,53	0,27
134	0,66	0,16	0,26
143	0,52	0,37	0,28
Medelvärde	0,84	0,45	0,28

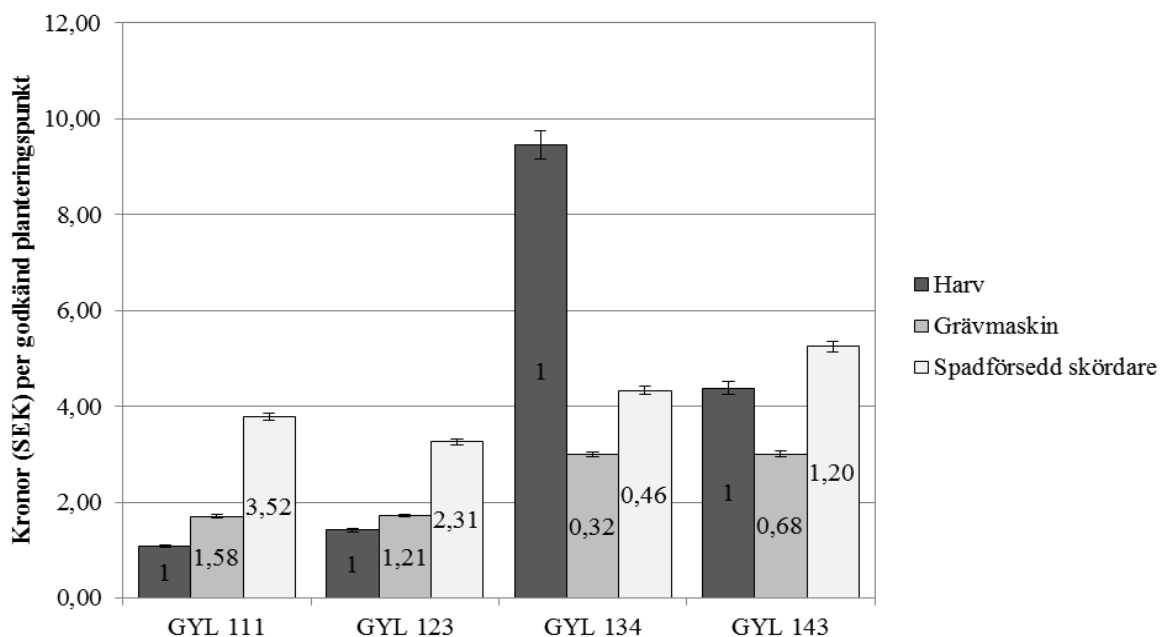
Det fanns stora skillnader i markberedningens kostnad per hektar och per godkänd planteringspunkt mellan de olika markberedningsmetoderna (Figur 5 och 6). På plan mark (GYL 111) var skillnaderna störst. Jämfört med harv var markberedning med spadförsedd skördare mer än 2,7 gånger dyrare. Kostnaden för markberedning med grävmaskin beräknades vara 1,65 gånger dyrare jämfört med harv på plan mark. Stor skillnad i kostnad för markberedningen fanns i terrängen med den högsta lutningsklassen (4). Som tidigare nämnts var man med harv tvungen att rundköra vid denna terrängklass, vilket fick en stor påverkan på markberedningskostnaden per hektar (Figur 7). Minst skillnad i relativ kostnad per hektar mellan markberedningsmetoderna blev i terrängklassen med mycket svår ytstruktur och stark lutning (GYL 143). Dock var markberedning med grävmaskin drygt 10 % och spadförsedd skördare 25 % billigare jämfört med harvning (Figur 5).

Den relativa kostnaden mellan markberedningsmetoderna blev något annorlunda i analyserna av kostnad per godkänd planteringspunkt. På GYL 111 och 123 blev skillnaderna mellan harv och grävmaskin mindre vid jämförelse av kostnad per planteringspunkt jämfört med kostnaden per hektar. Däremot blev skillnaderna större på GYL 134 och 143 mellan harv och grävmaskin. Detta berodde på att grävmaskinen skapade ett större antal godkända planteringspunkter än harven. Spadförsedd skördare fick en relativt hög kostnad per skapad godkänd planteringspunkt jämfört med de andra markberedningsmetoderna på GYL 111, 123 och 143. Kostnaden per godkänd planteringspunkt var däremot > 50 % billigare med spadförsedd skördare jämfört med harv vid terrängförhållande med GYL 134 (Figur 6).



Figur 5. Kronor per hektar per terrängtyp och markberedningsmetod. Inom staplarna anges relativ kostnad jämfört med harv.

Figure 5. Cost in SEK per hektare for terrain types and soil scarification methods. Relative cost compare to disc trencher.

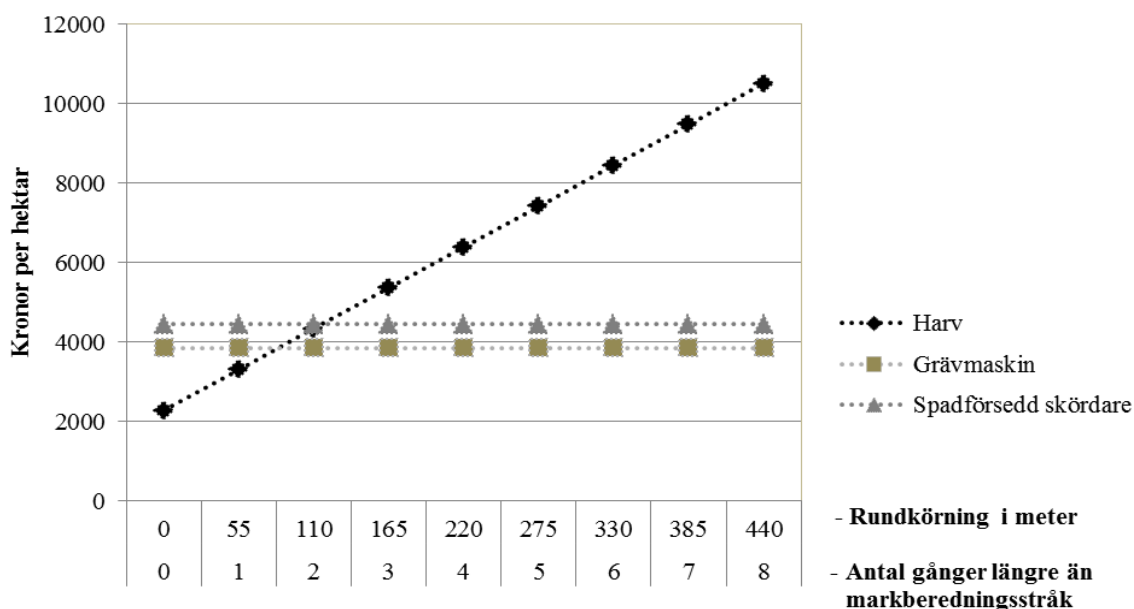


Figur 6. Markberedningens kostnad per godkänd planteringspunkt. (+/- variationsvidd). Inom staplarna anges relativ kostnad jämfört med harv.

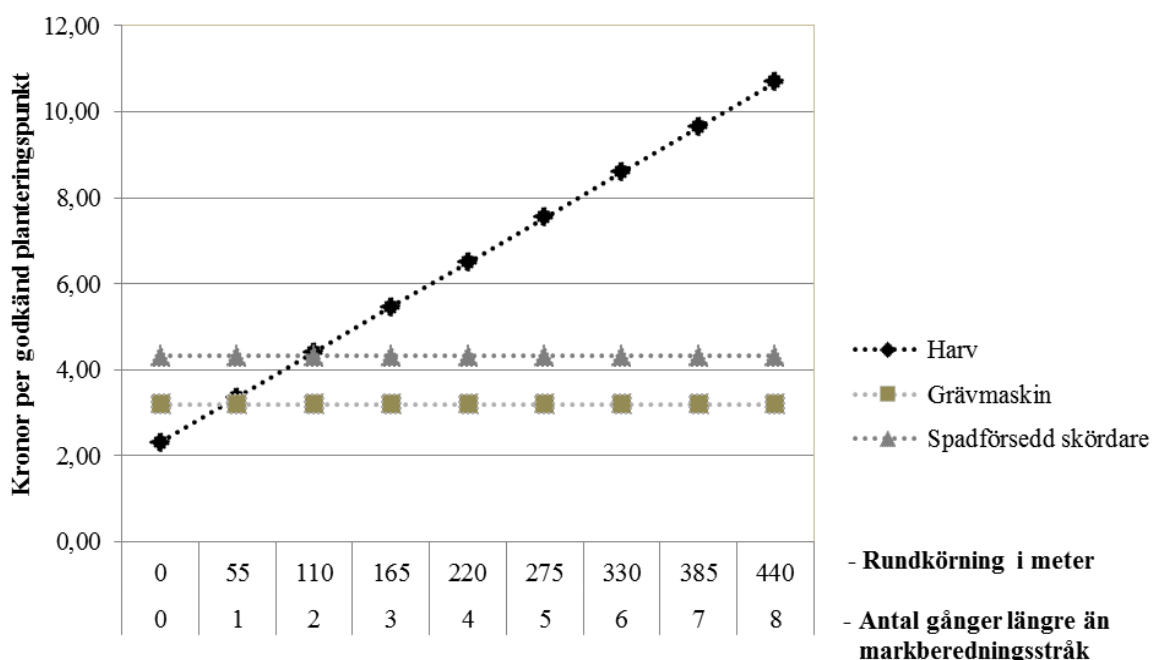
Figure 6. Cost of the soil scarification per approved planting spot. (+/- variation range). Relative cost compare to disc trencher.

Den sträcka, det vill säga rundkörningen, där harven inte markberedde påverkade kostnaderna mest i terrängklassen GYL 134. Varje meter rundkörning tog 2,29 cmin. Utifrån tiden för rundkörning och kalkylkostnaderna hittades en brytpunkt för kostnaden per hektar mellan harv och grävmaskin vid en rundkörningssträcka mellan 1,4 - 1,8 gånger markberedningsstråkets längd för harven. Motsvarande brytpunkt mellan harv och

spadförsedd skördare blev 1,9 - 2,4 gånger längre rundkörningssträcka än markberedningsstråkets längd (Figur 7). Brytpunkten mellan harv och grävmaskin för kostnaden per godkänd planteringspunkt blev vid en kortare rundkörningssträcka mellan 0,75 - 1,05 gånger markberedningsstråkets längd. Motsvarande brytpunkt mellan harv och spadförsedd skördare blev mellan 1,8 – 1,95 gånger längre rundkörningssträcka än markberedningsstråkets längd (Figur 8).



Figur 7. Markberedningskostnad per hektar beroende på rundkörningssträckan i terrängklass GYL 134.
Figure 7. Soil scarification cost per hectare in dependence of round driving length in terrain type GYL 134.



Figur 8. Markberedningskostnad per planteringspunkt beroende på rundkörningssträckan i terrängklass GYL 134.
Figure 8. Soil scarification cost per planting spot in dependence of round driving length in meter in terrain typ GYL 134.

3.2 Vitalitet och tillväxt för tall 10 år efter planteringstillfället

3.2.1 Vitalitet

Sett över alla tallplantorna indikerade sammanställningen på olika vitalitet för de olika planteringspunkterna (Tabell 8). De godkända planteringspunkterna (Optimal mineralhög & mineralhög, mineraljordsfläck) visade något bättre vitalitet än de ej godkända planteringspunkterna (omvänd torva, humusfläck. Kategorin "Samtliga plantor", med flest inventerade plantor, valdes till att utgöra grund för att prognostisera 10-åriga bestånd i Heureka.

Tallplantor planterade i ej godkända planteringspunkter (omvänd torva, humusfläck) hade något bättre vitalitet än plantor planterade i ej markberedda planteringspunkter (Ej mb) där markberedning var utförd runtomkring. Vitaliteten per planteringspunkt var något bättre på de svårare ytstrukturklasserna än på de lättare. Planteringspunkter skapade av fläckmarkberedning visade sig ha något bättre vitalitet jämfört med planteringspunkter skapade av harvning och högläggning (Tabell 8). Resultatet i tabell 8 grundar sig på andel huvudstammar år 3 subtraherat med medelvärdet för avgången (döda och svårt skadade plantor) mellan år 3 och 10 (Tabell 7).

Medelavgången mellan år 3 och 10 visade sig vara lägre på svårare ytstruktur än på lättare. Högläggning hade en lägre medelavgång mellan år 3 och 10 jämfört med harv och fläckmarkberedning. De godkända planteringspunkterna verkar ha större avgång mellan år 3 och 10 jämfört med de ej godkända planteringspunkterna och ej markberett (Tabell 7). Avgången mellan plantering till och med år 3 var däremot högre på de ej godkända planteringspunkterna jämfört med de godkända planteringspunkterna. De ej godkända planteringspunkterna hade lägre avgång mellan år 0 och 3 (Omvänd torva och humusfläck) jämfört med de ej markberedda planteringspunkterna intill markberedning (Tabell 6).

Tabell 6. Andel plantor i procent (%) som dör eller skadas svårt från år 0 till 3 år efter planteringstillfället.
Table 6. Proportion of dying seedlings in percent (died or heavy damaged) between 0 and 3 years after planting.

Kategori	N	Optimal mineral- hög	Mineral- hög	Mineral- jords- fläck	Omvänd torva	Humus- fläck	Ej mb	Medel värde
Samtliga	7067	11,4	15,4	12	22,1	17,7	29,9	18
Lättare ytstruktur	5944	12,1	15,9	12,5	22,4	17,2	29,2	18,1
Svårare ytstruktur	1123	6,7	11,1	8,6	21	19,5	32,9	17,6
Fläckmarkberedning	781	6,2	11,1	9,7	12,4	10,4	25,7	12
Harvning	2977	11,7	13,7	10,5	24,3	17,1	31,1	18,8
Högläggning	3309	11,9	17,2	14,8	23	20,8	30,3	18,8

Tabell 7. Andel plantor i procent (%) som dör eller skadas svårt från år 3 till 10 år efter planteringstillfället.
Table 7. Proportion of dying seedlings in percent (died or heavy damaged) between 3 and 10 years after planting.

Kategori	N	Optimal mineral- hög	Mineral- hög	Mineral- jords- fläck	Omvänd torva	Humus- fläck	Ej mb	Medel värde
Samtliga	7067	19,8	19,5	24	17,6	20,1	15,7	19,2
Lättare ytstruktur	5944	19,9	20	24,1	18,8	20,9	16,6	20
Svårare ytstruktur	1123	18,9	14,8	23,1	10,8	17,1	11,4	15
Fläckmarkberedning	781	19,7	19,5	12,9	21,7	21,6	12,9	19,7
Harvning	2977	26,7	21,1	26,2	15,8	23,7	19,9	21,3
Högläggning	3309	17	18,4	23	17,1	14,5	12,5	17,1

Tabell 8. Andel överlevda huvudstammar per planteringspunkt i procent (%) 10 år efter planteringstillfället.
Table 8. Proportion of survived main seedlings per planting spot in percent 10 years after planting.

Kategori	N	Optimal mineral- hög	Mineral hög	Mineral- jords- fläck	Omvänd torva	Humusfl äck	Ej mb	Medelv ärde
Samtliga plantor	7067	69,4	65,4	68,8	58,7	63,1	50,9	62,8
Lättare ytstruktur	5944	67,9	64,1	67,5	57,6	62,8	50,8	61,9
Svårare ytstruktur	1123	78,3	73,9	76,4	64,0	65,5	52,1	67,4
Fläckmarkberedning	781	74,1	69,2	70,6	67,9	69,9	54,6	68,3
Harvning	2977	67,0	65,0	68,2	54,4	61,6	47,6	59,9
Högläggning	3309	71,0	65,7	68,1	59,9	62,1	52,6	64,1

3.2.2 Planthöjd

Medelhöjden år 10 för de friska plantorna varierade något mellan planteringspunkterna. Planter på planteringspunkt mineraljordsfläck hade ingen signifikant skillnad mot någon av de andra planteringspunkterna. Däremot skilde sig resterande planteringspunkter mot planteringspunkten Ej markberett (Ej mb). Bortsatt från planter på planteringspunkt Ej markberett hade planter på mineraljordsfläck satta på planteringspunkt Ej markberett signifikant lägre höjd, dock inte mer än 5-10%, än planter på de andra planteringspunkterna år 10. Det fanns ingen signifikant skillnad i planthöjd år 10 mellan ytstrukturklasserna. Mellan markberedningsmetoderna fanns signifikant skillnad i planthöjd där fläckmarkberedning hade högst medelhöjd, följt av harvning och högläggning (Tabell 9).

Tabell 9. Medelhöjden för de friska plantornas höjd 10 år efter planteringsstillfället. Behandlingar som inte delar bokstav inom samma variabel var signifikant åtskilda i de statistiska analyserna.

Table 9. Mean value of the healthy seedlings height 10 years after planting. Treatments with the same letter were not significantly different.

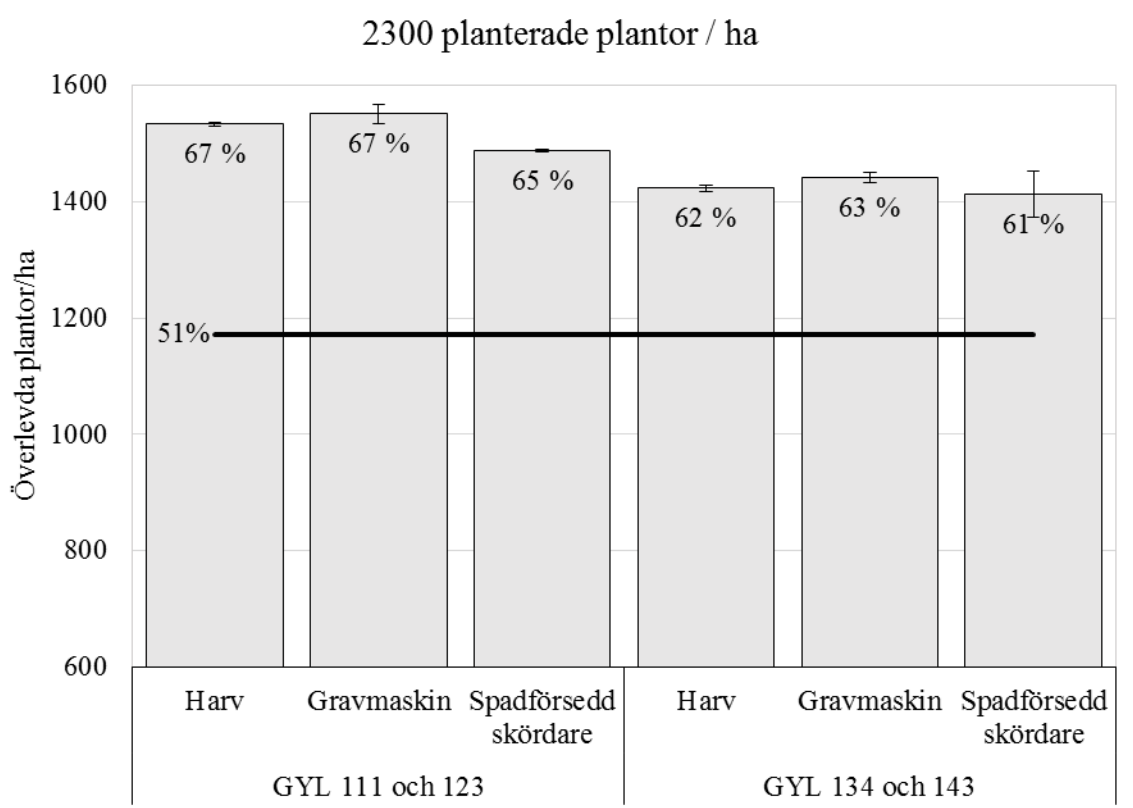
ere not significantly different.

Kategori	N	Höjd (cm)	Gruppering	
Samtliga		271,7		
Planteringspunkt				
Optimal mineralhög	709	283,6	A	
Mineralhög	369	285,7	A	
Mineraljordsfläck	382	265,1	A	B
Omvänd torva	1107	276,5	A	
Humusfläck	535	273,1	A	
Ej MB	177	245,8		B
Ytstruktur				
1 och 2	2737	271,1	A	
3 och 4	542	272,2	A	
Markberedningsmetod				
Fläckmarkberedning	389	295,4	A	
Harvning	1284	265,2		B
Högläggning	1606	254,4		C

3.2.3 Skogsbestånd vid 10 års ålder

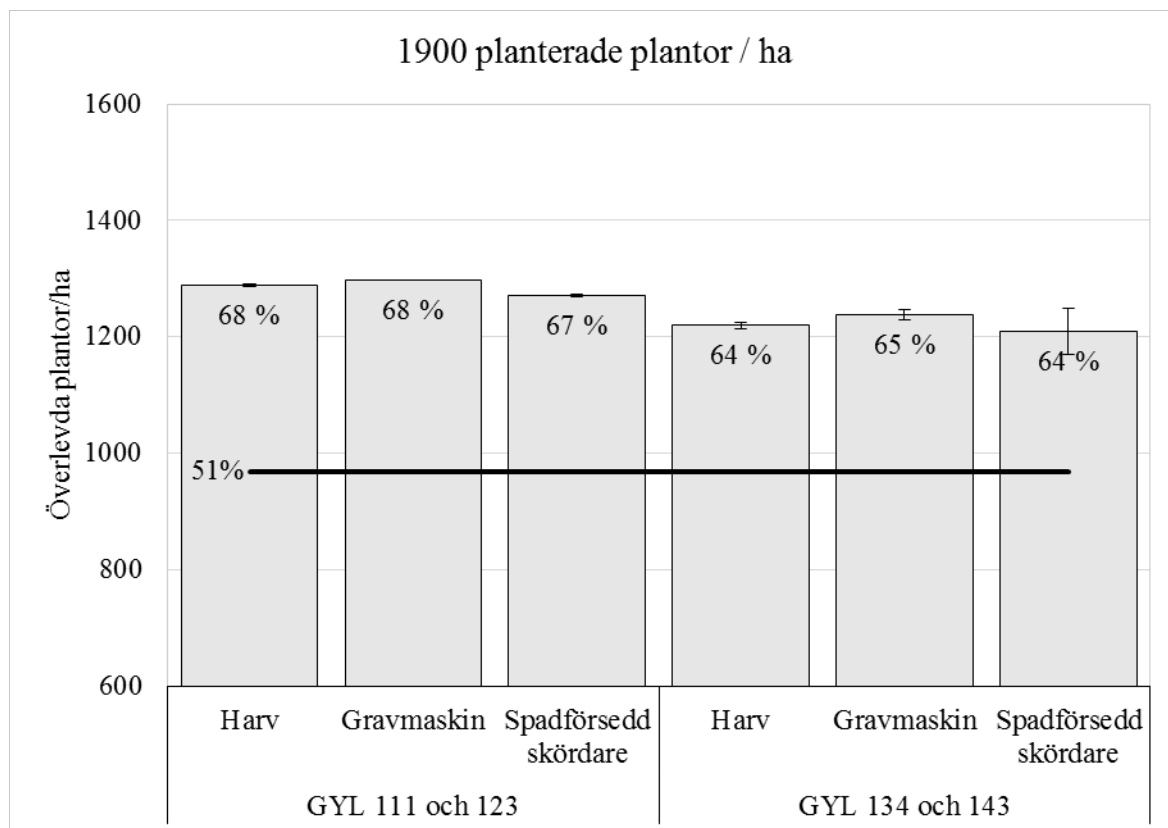
För alternativet 2300 planterade plantor per ha fanns inga signifikanta skillnader mellan markberedningsmetodernas prognostiserade resultat i andel överlevda huvudstammar 10 år efter planteringstillfället. Däremot fanns signifikanta skillnader mellan de mindre svåra och svårare terrängklasserna (Figur 9). Medelvärde för antal överlevda huvudstammar 10 år efter planteringstillfället var 1524 st/ha på mindre svår och 1426 st/ha på svårare terrängklass. Resultatet för planterat i "Ej markberett" (Intill markberedning) blev 1171 tallplantor per hektar tio år efter planteringstillfället (baserat på kategoriuppdelning "Samtliga"; Tabell 6).

Liknande signifikanta skillnader hittades för alternativet 1900 som för 2300 planterade plantor när antalet överlevda huvudstammar beräknades utifrån kategori "Samtliga" (Tabell 6). Medelvärde för antal överlevda plantor tio år efter planteringstillfället var 1268 st/ha på mindre svår och 1222 stycken på svårare terrängklass. Resultatet för planterat i "Ej markberett" (intill markberedning) blev 967 tallplantor per hektar tio år efter planteringstillfället (baserat på kategoriuppdelning "Samtliga"; Tabell 6) (Figur 10). Resultatet visar på större skillnad mellan plantering i ej markberett intill markberedning jämfört med plantering i markberedda planteringspunkter ju fler plantor som planterats i markberedda punkter och ju bättre (Tabell 6) planteringspunkterna är (Figur 9 och 10).



Figur 9. Prognostiserat antal överlevda huvudstammar per hektar 10 år efter planteringstillfället vid 2300 planterade plantor per hektar (+/- variationsvidd).

Figure 9. Prognosis in number of survived main seedlings per hectare 10 years after planting with 2300 planted seedling per hectare (+/- variation range). Line 51 % shows the result when planting beside soil scarification.



Figur 10. Prognostiserat antal överlevda huvudstammar per hektar 10 år efter planteringstillfället vid 1900 planterade plantor per hektar (+/- variationsvidd). Linjen 51 % visar resultat för plantering i ej markberett intill markberedning.

Figure 10. Prognosis in number of survived main seedlings per hectare 10 years after planting with 1900 and 1900 planted seedling per hectare (+/- variation range). Line 51 % shows the result when planting beside soil scarification.

I analyserna hittades ingen skillnad i höjdtillväxt mellan markberedningsmetoderna 10 år efter plantering. Däremot resulterade plantering i markberett i ca 9 % högre höjd 10 år efter plantering jämfört med plantering i ej markberedda planteringspunkter intill markberedning (Tabell 10).

Tabell 10. Tallplantornas höjd (cm) 10 år efter planteringstillfället vid 2300 och 1900 planterade plantor.
Table 10. Height of the pine seedlings (cm) 10 years after planting with 2300 planted seedlings.

Terrängklass (GYL)	Harv	Grävmaskin	"Spadförsedd" skördare	Ej MB
<i>2300 planterade plantor</i>				
111 och 123	271,7	271,6	271,6	245,8
134 och 143	267,4	267,1	265,9	245,8
<i>1900 planterade plantor</i>				
111 och 123	271,7	271,7	271,7	245,8
134 och 143	271,0	270,6	271,2	245,8

3.3 Simulering av volymproduktion i Heureka

Skillnaderna i nettointäkter och avverkningsvolym var små mellan de olika markberedningsmetoderna (Tabell 11, 12 och 13). Samtliga markberedningsmetoder visade dock något högre nettointäkt och avverkad volym vid slutavverkningen om plantering skedde i skapade planteringspunkter jämfört med i ej markberedda planteringspunkter intill markberedning (Tabell 11, 12 och 13). Totala volymen vid slutavverkningen blev mellan 6-9 % lägre vid ej markberett (intill markberedning) jämfört med då planteringspunkterna nyttjades från markberedningen (tabell 11)

Med en ränta på 1 % blev den avverkade volymen mellan 14-20 % lägre då plantering endast skedde i ej markberedda planteringspunkter jämfört med om planteringspunkterna från markberedningen nyttjades. Skillnaderna blev större mellan ej markberett (intill markberedning) och nyttjande av planteringspunkter vid det lägre planteringsmålet (1900) eftersom en högre andel plantor då placerades i bra planteringspunkter i simuleringen (Tabell 11).

Vid plantering i ej markberett (intill markberedning) och 2300 planterade tallplantor per hektar och 3 % ränta blev den avverkade volymen (av tall) ca 20 % lägre på de mindre svåra terrängklasserna (GYL 111 och 123) jämfört med om planteringspunkterna skapade från markberedningen nyttjades. På de svårare terrängklasserna (GYL 134 och 143) blev den avverkade volymen drygt 15 % lägre då plantorna endast planterades i ej markberedda planteringspunkter jämfört med nyttjande av markberedda planteringspunkter. Med 1900 planterade tallplantor per hektar blev skillnaderna i avverkad volym (tall) ännu större mellan plantering i ej markberedda planteringspunkter intill markberedningen jämfört med nyttjande av de skapade planteringspunkterna från markberedningen. Om plantering endast skedde i ej markberedda planteringspunkter (intill markberedning) blev resultatet > 20 % mindre slutavverkad volym av tall jämfört med om skapade planteringspunkter nyttjades (Tabell 11).

Nuvärdet blev högre på SI 23 med 2300 planterade plantor jämfört med SI 19 med 1900 planterade plantor (Tabell 12 och 13). Intäkterna från gallring erhöles tidigare efter plantering i markberedning jämfört med plantering i ej markberett (Tabell 12 och 13). Det blev dock ingen skillnad mellan markberedningsmetoderna i åtgärdstidpunkt. På grund av att nettoinkomsterna blev relativt lika mellan markberedningsmetoderna blev kostnaden för markberedningen avgörande för nuvärdet. Vid kalkylränta 3 % blev samtliga nuvärden negativa, förutom för harv på de mindre svåra terrängklasserna vid 2300 planterade plantor (Tabell 12 och 13).

Tabell 11. Simulerad slutavverkad volym (m³sk) tall och björk i Heureka. I parentes anges relativt värde i procent mot alternativ med högst volym.

Table 11. Harvested volume (m³sk) pine and birch as simulated in Heureka. Relative value in percent to the alternative with highest volume in parentheses.

Planteringsmål	Ränta, terrängklass och omloppstid							
SI								
	1%				3%			
	GYL 111 och 123		GYL 134 och 143		GYL 111 och 123		GYL 134 och 143	
	99 år				79 år			
	M³sk	Relativ volym (%)			M³sk	Relativ volym (%)	M³sk	Relativ volym (%)
Planteringsmål 2300 SI 23								
Harv								
<i>Volym tall</i>	352	99,5%	337,4	99,3%	263,8	99,4%	251,1	99,2%
<i>Volym björk</i>	46,2	61,2%	52,2	69,1%	38,6	63,6%	45,3	74,6%
<i>Volym totalt</i>	398,2	99,8%	389,6	99,2%	302,4	99,7%	296,4	99,7%
Grävmaskin								
<i>Volym tall</i>	353,9	100%	339,7	100%	265,5	100%	253,1	100%
<i>Volym björk</i>	45,1	59,7%	53,1	70,3%	37,7	62,1%	44,2	72,8%
<i>Volym totalt</i>	399	100%	392,8	100%	303,2	100%	297,3	100%
Spadförsedd skördare								
<i>Volym tall</i>	346	97,8%	335,8	98,9%	258,6	97,4%	249,7	98,7%
<i>Volym björk</i>	49,7	65,8%	55	72,8%	41,5	68,4%	45,9	75,6%
<i>Volym totalt</i>	395,7	99,2%	390,8	99,5%	300,1	99,0%	295,6	99,4%
Ej markberett intill markberett								
<i>Volym tall</i>	292,8	82,7%	292,8	86,2%	210,2	79,2%	210,2	83,1%
<i>Volym björk</i>	75,5	100%	75,5	100%	60,7	100%	60,7	100%
<i>Volym totalt</i>	368,3	92,3%	368,3	93,8%	270,9	89,3%	270,9	91,1%

Planteringsmål 1900									
SI 19									
Harv									
<i>Volym tall</i>	280	99,5%	272,2	99,3%	227,1	99,5%	220,6	99,2%	
<i>Volym björk</i>	45,8	60,7%	51,2	67,8%	39,7	58,4%	44,4	65,3%	
<i>Volym totalt</i>	325,8	99,8%	323,4	99,8%	266,8	99,8%	265	99,8%	
Grävmaskin									
<i>Volym tall</i>	281,4	100%	274,2	100%	228,3	100%	222,3	100%	
<i>Volym björk</i>	45	59,6%	49,8	66,0%	39	57,4%	43,3	63,7%	
<i>Volym totalt</i>	326,4	100%	324	100%	267,3	100%	265,6	100%	
Spadförsedd skördare									
<i>Volym tall</i>	278,2	98,9%	271,3	98,9%	225,7	98,9%	220	99,0%	
<i>Volym björk</i>	47,2	62,5%	51,9	68,7%	40,9	60,1%	45,1	66,3%	
<i>Volym totalt</i>	325,4	99,7%	323,2	99,8%	266,6	99,7%	265,1	99,8%	
Ej markberett intill markberett									
<i>Volym tall</i>	229,5	81,6%	229,5	83,7%	174,6	76,5%	174,6	78,5%	
<i>Volym björk</i>	75,5	100%	75,5	100%	68	100%	68	100%	
<i>Volym totalt</i>	305	93,4%	305	94,1%	242,6	90,8%	242,6	91,3%	

Tabell 12: Resultat för planteringsmål 2300 – SI 23. från simulering i Heureka. Beräknat nuvärde för de olika markberedningsmetoderna.

Table 12. Simulated result in Heureka for 2300 planted seedlings- SI 23. Calculated net present value for the different soil scarification methods.

Ränta	1%			3%		
Terrängklass (GYL)	111 och 123	134 och 143	År	111 och 123	134 och 143	År
Kostnader						
<i>Plantering</i>	4000	4000		4000	4000	0
<i>Röjning</i>	1865	1865		1626	1626	7
Harv						
<i>Nuvärde</i>	37 277	29 486	0	996	-4 196	
Summa kostnader (npv)	8 250	12 537	0	8 011	12 298	
<i>Markberedning</i>	2385	6672	0	2385	6672	0
Nettoinkomster (npv)	45 527	42 023		9 007	8 102	
<i>Första gallring</i>	1 841	1101	44	777	465	44
<i>Andra gallring</i>	5 455	4 723	59	1 715	1 483	59
<i>Slutavverkning</i>	38 231	36 199	99	6 515	6 154	79
Grävmaskin						
<i>Nuvärde</i>	36 190	32 644	0	-83	-1 215	
Summa kostnader (npv)	9 376	9 612	0	9 137	9 373	
<i>Markberedning</i>	3511	3747	0	3511	3747	0
Nettoinkomster (npv)	45 566	42 256		9 054	8 158	
<i>Första gallring</i>	1 871	1 126	44	789	475	44
<i>Andra gallring</i>	5 471	4 758	59	1 720	1 496	59
<i>Slutavverkning</i>	38 224	36 372	99	6 545	6 187	79
Spadförsedd skördare						
<i>Nuvärde</i>	34 100	32 271	0	-1 718	-1 329	
Summa kostnader (npv)	10873	9628	0	10634	9389	
<i>Markberedning</i>	5008	3763	0	5008	3763	0
Nettoinkomster (npv)	44973	41898,7		8 916	8 060	
<i>Första gallring</i>	1755	1077	44	741	455	44
<i>Andra gallring</i>	5299	4693	59	1666	1 476	59
<i>Slutavverkning</i>	37919	36128,7	99	6 509	6 129	79

Tabell 13: Resultat för planteringsmål 1900 – SI19. Beräknat nuvärde för de olika markberedningsmetoderna.
Table 13. Simulated result in Heureka for 1900 planted seedlings – SI 19. Calculated net present value for the different soil scarification methods.

Ränta	1%			3%		
Terrängklass (GYL)	111 och 123	134 och 143	År	111 och 123	134 och 143	År
Kostnader						
<i>Plantering</i>	4000	4000		4000	4000	0
<i>Röjning</i>	1865	1865		1626	1626	7
Harv						
<i>Nuvärde</i>	20 567	14 084		-2 799	-7 659	
Kostnader (npv)	8 250	12 537		8 011	12 298	
<i>Markberedning</i>	2385	6672		2385	6672	0
Nettoinkomster (npv)	28817	26829		5287	4847	
<i>Första gallring</i>	1195	644	49	457	246	49
<i>Andra gallring</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Slutavverkning</i>	27622	26185	99	4830	4601	79
Grävmaskin						
<i>Nuvärde</i>	19 539	17 366		-3 822	-4 549	
Summa kostnader (npv)	9 376	9 612		9 137	9 373	
<i>Markberedning</i>	3511	3747	0	3511	3747	0
Summa nettoinkomster (npv)	28915	26978		5315	4824	
<i>Första gallring</i>	1220	671	49	467	257	49
<i>Andra gallring</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Slutavverkning</i>	27695	26307	99	4848	4567	79
Spadförsedd skördare						
<i>Nuvärde</i>	17 784	17 273	0	-5 364	-4 522	
Kostnader (npv)	10873	9628	0	10634	9389	
<i>Markberedning</i>	5008	3763	0	5008	3763	0
Nettoinkomster (npv)	28657	26901		5270	4867	
<i>Första gallring</i>	1145	637	49	438	244	49
<i>Andra gallring</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Slutavverkning</i>	27512	26264	99	4832	4623	79

4 Diskussion

4.1 Planteringspunkter efter markberedning

Studien utfördes på fyra olika terrängklasser enligt Bergs (1995) terrängtypschema, med en upprepning per markberedningsmetod/-maskin och terrängklass. Utifrån markberedningsmetodernas resultat i skapandet av planteringspunkter sågs de fyra terrängklasserna som två terrängklasser, en mindre svår (GYL 111 och 123) och en svårare (GYL 134 och 143) terrängklass. Det var signifikant skillnad i antalet planteringspunkter (totalt och godkända) mellan terrängklasserna. Även markberedningsmetodernas prestation i andelen godkända av totalt antal planteringspunkter indikerade på signifikant skillnad mellan mindre svår och svårare terrängklass. Viktigt att påpeka är ändå att studien utfördes på enbart svår mark där det ofta är problem att få till ett bra markberedningsresultat på grund av hög blockighet i marken och/eller lutning.

Grävmaskinen skapade flest och spadförsedd skördare minst antal godkända planteringspunkter sett över samtliga terrängklasser. När det gäller totalt antal planteringspunkter per hektar kunde inga signifikanta skillnader påvisas mellan någon av markberedningsmetoderna. Således finns indikationer på att grävmaskinen har en bättre kvalitetprestation än spadförsedd skördare på de terrängklasser som studien är utförd på. I andelen godkända planteringspunkter av totalt antal skapade planteringspunkter per hektar indikerade resultatet att grävmaskinen presterar bättre än de andra markberedningsmetoderna.

Ingen av markberedningsmetoderna uppfyllde målet på antal godkända planteringspunkter. Enligt SCA:s kvalitetsuppföljning brukar samtliga maskiner prestera betydligt bättre i antal godkända planteringspunkter mot mål än vad de gjort i den här studien. Målet uppfylldes för grävmaskin och harv på de mindre svåra terrängklasserna om totala antalet planteringspunkter räknades med i resultatet. Utifrån iakttagelser när markberedningsmetoderna arbetade på de olika terrängklasserna och vid inventeringen av skapade planteringspunkter var blockigheten i marken, ytstrukturen och lutningen av stor betydelse för kvalitetsprestationen. Samtliga terrängklasser i studien hade en relativt hög markblockighet, vilket försvårade för maskinerna att åstadkomma bra planteringspunkter. Att måluppfyllnaden kan vara svår att uppnå i svår terräng har även visats i andra studier. I en studie av Edholm (2012) uppnådde markberedning i svår terräng med harv önskat resultat i antal planteringspunkter på 2 av 10 inventerade trakter, medan markberedning med grävmaskin uppnådde motsvarande resultat på 2 av 5 inventerade trakter. Resultatet i Edholm (2012) grundar sig på totala antalet planteringspunkter. Att planteringspunkterna optimal mineralhög & mineralhög, samt mineraljordsfläck är önskat vid markberedning har länge varit känt. Däremot har SCA nyligen skärpt definitionen för godkända planteringspunkter, vilket innebär att endast planteringspunkter där plantan går att plantera i mineraljord (Optimal mineralhög & mineralhög, mineraljordsfläck) numera är godkända på torr och frisk mark. Det är därför inte förvånande att målet för antal godkända planteringspunkter blir ännu svårare att uppnå då två möjliga planteringspunkter (omvänd torva utan mineraljord ovanpå och humusfläck) räknas bort. I en annan studie av Magnusson (2015) resulterade markberedning med grävmaskin i en högre måluppfyllnad än harv gällande godkända planteringspunkter. Skillnaden i måluppfyllnad blev dessutom större vid svårare ytstruktursklass. Eftersom lutningen varierar mellan de olika terrängklasserna i denna studie är dock resultaten svåra att jämföra med Magnusson (2015). En faktor som kan ha underlättat markberedningsresultatet i denna studie är att lågor och vindfällen (liggande död ved) flyttats från parcellerna där markberedningsstudierna genomfördes.

Markberedningsresultatet kan också vara kopplat till maskinförarna och försöksupplägget. Eftersom definitionerna för godkända planteringspunkter nyligen ändrats finns risken att förarna inte hunnit anpassa sig efter det eller att de anpassat sig i olika grad. Parcellerna där markberedningsmetoderna körde var begränsade till små arealer. Därför behövde maskinförarna snabbt anpassa maskinen efter marken och målet av planteringspunkter för att få ett bra resultat. Hur snabbt och väl maskinförarna lyckades anpassa sitt arbetssätt efter rådande terrängklass fick därför stor betydelse för antal åstadkomna planteringspunkter inom parcellen. Det är möjligt att resultatet hade blivit något annorlunda om maskinerna kört på större arealer eftersom maskinförarna då fått mer utrymme att anpassa sitt arbetssätt efter marken för bättre resultat.

4.2 Markpåverkan från markberedning

Det fanns tydliga skillnader i markpåverkan mellan de tre markberedningsmetoderna. Spadförsedd skördare var den maskin som åstadkom minst markpåverkan, både procentuellt och per skapad planteringspunkt. Vid iakttagelser då maskinerna arbetade och vid inventering av markpåverkan var det tydligt att spadförsedd skördare arbetar på ett skonsammare sätt jämfört med de andra två maskinerna. Maskinens aggregat arbetade mellan stenar och stubbar för att skapa planteringspunkter och var beroende av åtkomligt material nära markytan. De övriga metoderna kunde bryta upp mindre block och stubbar för att skapa planteringspunkter. Följden blev dock att många av minrealjordsfläckarna hamnade under markytan och därför inte räknades som planteringspunkt. När block och stubbar bröts upp från markytan blev markpåverkan dessutom stor, både procentuellt och per planteringspunkt. Därför kan spadförsedd skördare vara ett bra komplement till de andra markberedningsmetoderna på marker där en skonsam behandlingsmetod är nödvändig, exv. om det redan finns en riklig men kanske något luckig beståndsföryngring eller om skador på lavtäcket ska minimeras.

4.3 Tidsåtgång och kostnad för markberedning

Den tid det tog att markbereda skiljde sig mellan maskinerna och terrängklasserna. Grävmaskinen arbetade med en relativt konstant tidsåtgång per hektar på samtliga terrängklasser, medan spadförsedd skördare arbetade snabbare i svårare än i mindre svår terräng. Vid iakttagelser då spadförsedd skördare arbetade samt vid inventeringen uppmärksammades att maskinen arbetade med kortare drag och fler försök på de mindre svåra terrängklasserna (GYL 111 och 123) och med längre drag och färre försök på svårare terrängklasserna (GYL 134 och 143). Lutningen fick stor påverkan för harven i tidsåtgångtid och därmed kostnad. Vid den svåra terrängklassen med GYL-förhållande 134 kunde harven endast köra i medlut inom parcellen. Maskinen var tvungen att köra en omväg på ca 380 meter efter varje markberedningsstråk innan den kunde börja på nästa. Spadförsedd skördare kunde inte heller köra uppåt inom motsvarande parcell. Arbetsbredden för spadförsedd skördare fyllde upp hela parcellens bredd och därför behövdes ingen rundkörning i försöket. Viktigt att ha i åtanke är att markberedningsmetoderna i studien styrdes till specifika områden och därför kan körsättet ha påverkats. Vid en större areal med varierande terräng hade det kanske funnits möjlighet för maskinförarna att anpassa sitt körsätt på ett annat sätt efter terrängens svårigheter. Att lågor och vindfällan flyttades bort från områdena innan studien påverkade också tidsåtgången. Om lågor och vindfällan varit kvar hade förmodligen harv missgynnats i högre grad än de andra markberedningsmetoderna, både i tidsåtgång och avseende resultat i antal planteringspunkter. Detta eftersom harven i högre grad hade behövt anpassa sitt körsätt för att undvika att orsaka skador på grövre lågor, samt på grund av

harvens begränsade möjlighet att komma åt mellan de liggande lågorna jämfört med riktade markberedningsmetoder.

På mindre svår terrängklass var harv effektivast i tids- och kostnadsperspektiv medan de riktade markberedningsmetoderna var mer tids- och kostnadseffektiva på svårare terrängklass. Eftersom harven, med vissa svårigheter, kunde backa upp (dock inte markbereda) i en av de svåra terrängklasserna (GYL 143) påverkades inte tidsåtgången i samma utsträckning som i den andra svåra terrängklassen (GYL 134) när maskinen tvingades ta en tidkrävande omväg. Kostnaden och tidsåtgången med harv som markberedningsmetod påverkades mycket av om harven kunde köra uppåt i rådande terrängförhållande eller inte. Detta eftersom tiden för körning utan markberedningsaggregat i drift blev större ju längre omväg harven tvingades ta. När harven kunde backa upp i terrängförhållande 143 blev kostnadsskillnaderna mellan markberedningsmetoderna lägre. De riktade metoderna var dock 10-15 % billigare per hektar. Däremot blev kostnaden per godkänd planteringspunkt billigare med harv jämfört med spadförsedd skördare vid terrängklass GYL 143. På samma mark var grävmaskin drygt 30 % billigare jämfört med harv i kostnad per godkänd planteringspunkt. Resultatet är i linje med en studie av Gullberg (2002) där det visade sig att riktad markberedningsmetod kan vara av ekonomisk fördel vid stora terrängsvårigheter och när harven endast kan köra i medlut.

Sammantaget, eftersom resultaten i studien varken visar på billigare eller bättre kvalitet prestation, borde inte harv vara att rekommendera framför de andra markberedningsmetoderna på svårare terrängklass (främst avseende lutning). Detta på grund av en relativt hög markpåverkan i förhållande till antal planteringspunkter på svårare terrängklass, samt risken för en relativt hög kostnad vid svår lutning p.g.a. att konventionell rundkörning inte är möjlig. Enligt studien av Gullberg (2002) blir belastningen på förare och maskin dessutom betydligt mindre om en riktad markberedningsmetod användes vid svåra terrängförhållanden. Den riktade markberedningsmetoden "Garpgreppet" som användes i Gullbergs (2002) studie var likt "Spadförsedd" skördare en alternativ markberedningsmetod. Däremot bestod "Garpgreppet" av en grip placerad på kranspetsen av en skotare. Trots stora skillnader i utförande visade "Garpgreppet" i Gullberg (2002) och "Spadförsedd" skördare i denna studie på stora svårigheter i att åstadkomma godkända planteringspunkter då liten åtkomst av mineraljord närmast markytan fanns att tillgå. Det är därför möjligt att marken i denna studie inte var lämpad för spadförsedd skördare eftersom det fanns lite åtkomlig mineraljord mellan blocken. Utifrån markberedningsmetodernas resultat i kostnad och antal godkända planteringspunkter rekommenderas således harv på mindre svåra och grävmaskin på svårare terrängklass speciellt där harvning endast kan utföras i medlut. Vid andra markförhållanden eller där skonsam teknik behövs för hänsyn till natur- och kulturvärden kan däremot spadförsedd skördare vara att föredra.

4.4 Överlevnad och höjdtillväxt beroende på markberedningskvalité

Enligt sammanställningen (Tabell 8) finns indikationer på att planteringspunkten påverkar sannolikheten att plantan överlever. De godkända planteringspunkterna visade på något högre andel överlevda möjliga huvudstammar efter tre år än de ej godkända planteringspunkterna. Däremot var det en högre andel möjliga huvudstammar som överlevt på de ej godkända planteringspunkterna jämfört med planter som planterats på ej markberedda punkter även om skillnaden inte var mer än ca 5-10 %. En uppdelning gjordes även på ytstruktur och markberedningsmetod för andel möjliga överlevda huvudstammar beroende på planteringspunkt. Resultatet indikerade att planteringspunkter kan vara olika bra beroende på ytstruktur och vilken markberedningsmetod som använts för att skapa dem. Däremot kan

andra faktorer än ytstruktur och markberedningsmetod påverkat skillnaderna då data är hämtat från olika typer av ståndorter. Andel överlevda möjliga huvudplantor är baserade på data från praktiska planteringar och inte vetenskapligt utformade experiment. Därför är resultatet att betrakta med stor försiktighet. Dock ger det ett perspektiv på andelen överlevda möjliga huvudplantor, men med restriktion om viss osäkerhet i rättvisa mellan de olika planteringspunkterna.

Sammanställningen om andel överlevda möjliga huvudstammar byggde på tidigare inventerade data för plantor vid 3 och 10 år efter planteringstillfället. Effekterna av markberedning antogs vara större vid tre år än vid 10 år. Därför utgick överlevnadsprocenten från inventeringen då plantorna var tre år. Både friska och lätt skadade plantor antogs vara möjliga huvudstammar. Lätt skadade plantor utgjordes av plantor med skadade sidogrenar. Inventeringen vid 10 år användes som grund för att avgöra en medelavgång mellan år 3 och 10 år. Avgången utgjordes av de plantor som var svårt skadade eller döda. Färska betesskador på toppskott, barknag och stambrott räknades som svåra skador. Jämfört med andra studier (Örlander et al., 1998, Söderbäck 2012) kan överlevnadsprocenten tyckas låg möjligtvis beroende på att i denna studie inkluderades inga svårt skadade plantor som möjliga huvudstammar.

Plantor som planterats på andra planteringspunkter än de som studerats i studien valdes på förväg bort från datamängden. Medelbortgången från år 3 till 10 kan därför vara något missvisande eftersom plantor på specifika punkter valts ut till representationen. Det kan vara så att plantor drabbas olika av skador beroende på planteringspunkt under olika tidpunkter i ungskogsfasen. Det visade sig att de godkända planteringspunkterna hade högre andel överlevda möjliga huvudplantor från år 0-3 jämfört med de andra planteringspunkterna. Däremot var avgången mellan år 3 och 10 högre på de godkända jämfört med de ej godkända planteringspunkterna. Således hade skillnaderna mellan planteringspunkterna i andel överlevda möjliga huvudplantor 10 år efter planteringstillfället blivit mindre om data för planteringspunkterna hade analyserats direkt vid 10 års ålder för varje planteringspunkt. Söderbäck (2012) analyserade SCA:s fasta provytor med plantor planterade 1998-2001 vid tio år efter planteringstillfället och kom bland annat fram till att tall hade en högre skadefrekvens än gran. De vanligaste skadeorsakerna på de 10-åriga plantorna var enligt Söderbäck (2012) älgskador och knäcksjuka, dvs. skador som inte direkt verkar korrelera med planteringspunktens egenskaper.

Fördelningen av antalet plantor är ojämn mellan planteringspunkterna i sammanställningen (Tabell 8) eftersom plantorna i datamängden är utlagda och planterade i den prioriteringsordning SCA har vid val av planteringspunkt. Data är från praktiska planteringar där plantörerna strävat att plantera i bästa möjliga planteringspunkt enligt instruktion från SCA. Därför har de olika planteringspunkterna används i olika stor omfattning. Detta gäller framförallt för plantor planterade i ej markberett eftersom plantörerna i möjligaste mån undviker att plantera i en sådan punkt. På grund av en skiftande variation mellan antal plantor per planteringspunkt bör resultatet betraktas med försiktighet, särskilt i de fall när resultatet bygger på en liten mängd plantor.

För att så rättvist som möjligt undersöka kvalitetsskillnaderna i planteringspunkter mellan markberedningsmetoderna valdes att utgå från kategori” samtliga” ur sammanställningen (Tabell 8) med flest antal plantor per planteringspunkt. Resultatet för andelen överlevda möjliga huvudstammar per planteringspunkt beroende på ytstruktur eller markberedningsmetod bör betraktas med stor försiktighet. Det fanns en relativt liten mängd

planter i datamängden på svårare ytstruktur och därför blev antalet planter per planteringspunkt få i jämförelse med lättare ytstruktur. Det är troligt att det var en annorlunda fördelning på andra faktorer som påverkar överlevnaden mellan ytstrukturerna. Det är däremot möjligt att ytstruktur påverkar hur bra en planteringspunkt är och borde därför studeras vidare. Datamängden per markberedningsmetod var även den ojämn och även andra faktorer som påverkar överlevnaden kan ha påverkat resultatet. Därför är det svårt att direkt jämföra planteringspunkternas inverkan på överlevnaden beroende på markberedningsmetod. Det är däremot möjligt att en planteringspunkt är olika bra beroende på vilken markberedningsmetod som används för att skapa den eftersom olika markberedningsmetoder påverkar marken olika mycket och på olika sätt. På grund av detta går det inte att dra en slutsats om att en specifik planteringspunkt är bäst i alla lägen. I studien valdes att utgå från fördelningen av överlevnad i medeltal, vilket gavs från kategori "samtliga" där samtliga planter per planteringspunkt räknades med.

På svårare ytstruktur var medelavgången mellan 3 och 10 år mindre jämfört med på lättare ytstruktur. Om det hade analyserats vidare hade troligen den bättre överlevnaden per planteringspunkt på svårare ytstruktur kompenserat det sämre markberedningsresultatet. Enligt kategori "markberedningsmetod" resulterade harv i mindre överlevda möjliga huvudstammar per planteringspunkt jämfört med fläckmarkberedning och högläggning. Därför hade harven missgynnats i antal överlevda planter om analyserna hade gjorts utifrån hänsyn till markberedningsmetod som skapat dem. Spadförsedd skördare använde fläckmarkberedning och grävmaskin kombinerade fläckmarkberedning/omvändning av torvor (dvs. likt högläggning) på svårare terrängklass. Eftersom datamaterialet från fläckmarkberedning och högläggning i huvudsak kom från lättare ytstruktur är det däremot svårt att avgöra hur bra metoderna är på svårare terrängklass i avseende på överlevnad per planteringspunkt. Det mesta av data för svårare ytstruktur kom från markberedning med harv. Intressant hade varit att analysera varje markberedningsmetods resultat i överlevnad per planteringspunkt beroende på ytstruktursklass och gärna lutningsklass. Datamaterialet gjorde det svårt att göra en sådan indelning då antalet planter per planteringspunkt blev väldigt få i en del fall eftersom det fanns en mycket liten mängd data från svårare terrängklasser.

Mellan planteringspunkterna (Tabell 3) fanns inga signifikanta skillnader i planthöjd 10 år efter planteringsstillfället (jfr även Söderbäck (2012)), vilket förklaras av att tidiga skillnader i tillväxt mellan olika planteringspunkter kan jämnas ut efter ett antal år. Även om det inte var signifikant skillnad mellan planteringspunkterna resulterade ändå de godkända planteringspunkterna (Optimal mineralhög & mineralhög) i något högre höjdtillväxt än de andra planteringspunkterna. Mineraljordsfläck resulterade däremot i sämre tillväxt än de ej godkända planteringspunkterna. Således ger inte mer mineraljord en ökad tillväxt för tallplanter. Det är inte förvånande då andra studier visat att inblandad humus förhöjer tillväxten på grund av ökat näringstillskott (Nordborg 2001, Saksa et al. 2005). Fläckmarkberedning gav högst och högläggning lägst höjdtillväxt för de planterade tallplantorna men resultaten är svåra att jämföra då markberedningsmetoderna används på olika marker och ståndorter. Dessutom var det inventerade plantantalet betydligt lägre för fläckmarkberedning.

Det blev inga skillnader i den prognostiserade medelhöjden mellan de olika markberedningsmetoderna. Däremot blev medelhöjden något högre på det lägre ståndortsindexet. Att medelhöjden blev något högre på SI 19 än SI 23 förklaras av plantantalet. Vid SI 19 planterades 1900 planter och på SI 23 planterades 2300 planter. Vid

ett lägre plantantal blev en större del av plantorna planterade i en planteringspunkt där tillväxten var högre än då plantan planterades i ej markberett intill markberedning.

4.5 Simulering av volymproduktion i Heureka

Simulering av volymproduktion i Heureka genomfördes utifrån ungskogsbestånd baserade från kategori ”Samtliga” (Tabell 8). Eftersom de prognostiserade 10-åriga ungskogsbestånden inte visade någon signifikant skillnad i stamantal per ha eller medelhöjd mellan markberedningsmetoderna var det förstås logiskt att inte heller volymproduktion och nettointäkter inte skiljde sig tydligt mellan markberedningsmetoderna. Däremot blev den avverkade slutvolymen något högre då plantering skett i markberedning jämfört med på sidan om. Därför inverkar förmodligen planteringspunkterna positivt på den långsiktiga virkesproduktionen, framförallt på det önskade planterade trädslaget. När en större andel planter kunde planteras i markberett (p.g.a bättre markberedningsresultat) i relation till planteringsmålet blev det större skillnader i avverkad slutvolym av det planterade trädslaget jämfört med om alla planter planterades i ej markberett intill markberedning. Därför blev skillnaden större mellan mindre svår terrängklass och plantering i ej markberett intill markberedning än mellan svårare terrängklass och plantering i ej markberett intill markberedning.

I andra studier har antalet överlevda planter visat på större skillnader mellan olika markberedningsmetoder (Uotila 2010, Johansson 2013). Det har dessutom visat sig att olika markberedningsmetoder kan generera olika skötselprogram och kostnader i förnygringskedjan (Uotila 2010). Kostnader i förnygringskedjan får stor påverkan på nuvärdet och får dessutom större betydelse vid ett högre räntekrav. I denna studie har planterings- och röjningskostnad bestämts till samma för samtliga markberedningsmetoder och terrängklasser. Således har endast kostnaden för markberedning varit den avgörande skillnaden mellan markberedningsmetodernas beräknade nuvärden. Resultaten från simulering av volymproduktion i Heureka måste betraktas med viss försiktighet eftersom det finns många faktorer som kan avgöra resultatet under en omloppstid. Dessutom kan faktorer som t ex frostrisk, uppfrysning och snytbaggetryck vara av större betydelse för plantornas överlevnad än vad som varit fallet i denna studie (Örlander et al., 1989; Langvall et al., 2001; Heiskanen et al. 2013).

5 Slutsatser

- Grävmaskinen skapade flest antal och störst andel godkända planteringspunkter per hektar medan spadförsedd skördare skapade minst antal och lägst andel godkända planteringspunkter per hektar.
- Spadförsedd skördare hade svårigheter att åstadkomma godkända planteringspunkter då liten mängd mineraljord fanns att tillgå vid markytan.
- Vid terrängförhållande GYL 111 och 123 blev kostnaden per godkänd planteringspunkt ca 25 % lägre med harv jämfört med grävmaskin. Per hektar blev kostnaden ca 30 % lägre med harv jämfört med grävmaskin.
- Vid terrängförhållande GYL 134 blev kostnaden per godkänd planteringspunkt ca 65 % lägre med grävmaskin jämfört med harv, främst beroende på att harvning endast kunde göras i medlut. Vid terrängförhållande GYL 143 blev kostnaden per godkänd planteringspunkt ca 30 % lägre med grävmaskin jämfört med harv.
- Brytpunkten för kostnad per hektar och per planteringspunkt mellan harv och grävmaskin blev när rundkörningssträckan var 1,4 – 1,8 gånger resp. 0,75 – 1,05 längre än harvens markberedningsstråk.
- Brytpunkten för kostnad per hektar och per planteringspunkt mellan harv och spadförsedd skördare blev när rundkörningssträckan var 1,9 – 2,4 resp. 1,8 – 1,95 gånger längre än harvens markberedningsstråk.
- Vid samtliga terrängförhållanden i studien blev kostnaden per godkänd planteringspunkt lägre med grävmaskin jämfört med spadförsedd skördare. Kostnaden för markberedning per hektar blev ungefär lika mellan de två metoderna.
- Spadförsedd skördare orsakade minst markpåverkan och bör användas istället för harv eller grävmaskin på marker som kräver skonsam teknik för hänsyn till exv. natur- och kulturvärden eller om det finns beståndsföryngring att spara.
- Skillnaderna i antal överlevda huvudstammar 10 år efter planteringstillfället var små mellan markberedningsmetoderna. Dock fanns indikationer på att planteringspunkterna kan ha olika påverkan på överlevnaden beroende på ytstruktur och använd markberedningsmetod.
- Simuleringen av volymproduktion utifrån antalet planteringspunkter per hektar resulterade inte i någon påtaglig skillnad mellan markberedningsmetoderna (< 5 %)
- Slutavverkad volym av önskat planterat trädslag blev ca 15-25 % lägre vid plantering i ej markberett intill markberedningen jämfört med nyttjande av markberedningens skapade planteringspunkter, vilket antyder att planteringspunkternas antal och kvalité har betydelse för den långsiktiga virkesproduktionen av det planterade trädslaget.
- Valet av markberedningsmetod hade betydelse för nivån på nuvärden eftersom kostnaden för markberedningen varierade mellan metoderna och en kostnad tidigt under en omloppstid har relativt stor inverkan.

Referenser

- Adelsköld, G. & Örlander, G. (1989). Val av planteringspunkt. 1989:08. Resultat – Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Kista, Sweden
- Berg, S. (1995). Terrängtypsschema för skogsarbete. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Spånga, Sweden
- Berg, S., Bäcké, J. & Jonsson, C. (1981). Markberedningsförsök i Kosta och Bräcke. 1981:02. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm, Sweden
- Bergstrand, K-G., Lindman, J. & Petré, E. (1986). Underlag för prestationsmål för motormanuell röjning. 1986:07. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Spånga, Sweden
- Bishop, K., Allan, C., Bringmark, L., Garcia, E., Hellsten, S., Högbom, L., Johansson, K., Lomander, A., Maili, M., Munthe, J., Nilsson, M., Porvari, P., Skyllberg, U., Sorensen, R., Zetterberg, T., Åkerblom, S. (2009). The effects of forestry on Hg bioaccumulation in nemoral/boreal waters and recommendations for good silvicultural practice. *Ambio* 38(7), 372-380.
- Björklund, N. (2004). Movement behaviour and resource tracking in the pine weevil *Hylobius abietis*. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria*, 302.
- Björklund, N., Nordlander, G., & Bylund, H. (2003). Host-plant acceptance on mineral soil and humus by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Agricultural and Forest Entomology*, 5(1), 61-66.
- Bäcké, J., Larsson, M., Lundmark, J.-E. & Örlander, G. (1986). Ståndortsanpassad markberedning - teoretisk analys av några markberedningsprinciper. 1986:03. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Spånga, Sweden.
- Edholm, A. (2012). Kartläggning av markberedning i svår terräng på SCA skog. Examensarbete 2012:10. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsvetenskapliga fakulteten. Skinnskatteberg, Sweden
- Eklöf, K., Schelker, J., Sørensen, R., Meili, M., Laudon, H., Von Brömssen, C. & Bishop, K. (2014). Impact of forestry on total and methyl-mercury in surface waters: distinguishing effects of logging and site preparation. *Environmental science & technology* 48(9), 4690-4698.
- Gullberg, T. (2002). Kranspetsmonterad markberedningsteknik som komplement eller alternativ i blockig terräng. 2002:16. Högskolan Dalarna, Avdelningen för skog och träteknik. Garpenberg, Sweden.
- Hallby, G., & Örlander, G. (2004). A comparison of mounding and inverting to establish Norway spruce on podzolic soils in Sweden. *Forestry* 77(2), 107-117.
- Hallsby, G., Ahnlund Ulvcrona, K., Karlsson, A., Elfving, B., Sjögren, H., Ulvcrona, T. & Bergsten, U. (2015). Effects of intensity of forest regeneration measures on stand development in a nationwide Swedish field experiment. *Forestry* 88(4), 441-453.
- Hansson, P. & Karlman, M. (1997). Survival, height and health status of 20-year-old *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* after different scarification treatments in harsh boreal climate. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12(4), 340-350.
- Heiskanen, J., Saksa, T., & J, L. (2013). Soil preparation method affects outplanting success of Norway spruce container seedlings on till soils susceptible to frost heave. *Silva Fennica* 47.
- Johansson, K., Nilsson, U. & Allen, H. (2007). Interactions between soil scarification and Norway spruce seedling types. *New Forests* 33(1), 13-27.
- Johansson, K., Nilsson, U., Nilsson, U. & Örlander, G. (2013). A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway Spruce. *Forestry*, 86(1), 91-98.

- Johansson, M.B. (1994). The influence of soil scarification on the turn-over rate of slash needles and nutrient release. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(2), 170-179.
- Karlsson, M., & Nilsson, U. (2005). The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 205(1), 183-197.
- Karlsson, M., Nilsson, U. & Örlander, G. (2001). Natural Regeneration in Clearcuts - Effects of Scarification, Slash removal and Clearcut Age. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17(2), 131-138.
- Langvall, O., Nilsson, U, Örlander, & G. (2001). Frost damage to planted Norway spruce seedlings - influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management* 141(3), 223-235.
- Lundmark, J-E. (1988). Skogsmarkens ekologi - ståndortsanpassat skogsbruk, del 2 - Tillämpning. Skogsstyrelsen. Jönköping, Sweden.
- Lundmark, J.-E. (2006). Val av markberedningsmetod med hänsyn till markegenskaperna. Ståndortsanpassad markberedning. Inledningsanförande vid NSFP-temadag i Tammerfors, 23 mars 2006.
- Magnusson, L. (2015). Markberedning i blockrik terräng - En jämförelse mellan grävmaskin och harv. Examensarbete. 2015:02. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogens ekologi och skötsel. Umeå, Sweden.
- Mattson, S., & Bergsten, U. (2003). *Pinus contorta* growth in northern Sweden as affected by soil scarification. *New Forests* 26(3), 217-231.
- Munthe, J. & Hultberg, H. (2004). Mercury and Methylmercury in Runoff from a Forested Catchment – Concentrations, Fluxes, and Their Response to Manipulations. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 4(2), 607-618.
- Mäkitalo, K. (1999). Effect of Site Preparation and Reforestation Method on Survival and Height Growth of Scots Pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(6), 512-525.
- Nilsson, U. & Gemmel, P. (1993). Changes in growth and allocation of growth in young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* due to competition. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8(2), 213-222.
- Nilsson, U. & Örlander, G. (1995). Effects of some regeneration methods on drought damage of newly planted Norway spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25(5), 790-802.
- Nordborg, F. (2001). Effects of site preparation on soil properties and on growth, damage and nitrogen uptake in planted seedlings. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvicultura*, 195.
- Nordborg, F., Nilsson, U. & Örlander, G. (2003). Effects of different soil treatments on growth and net nitrogen uptake of newly planted *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. *Forest Ecology and Management* 180(1), 571-582.
- Nordborg, F., Nilsson, U., Gemmel, P. & Örlander, G. (2006). Carbon and nitrogen stocks in soil, trees and field vegetation in conifer plantations 10 years after deep soil cultivation and patch scarification. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(5), 356-363.
- Nordlander, G., Hellqvist, C., Johansson, K. & Nordenhem, H. (2011). Regeneration of European boreal forests: Effectiveness of measures against seedling mortality caused by the pine weevil *Hyllobius abietis* . *Forest Ecology and Management* 262(12), 2354-2363.
- Porvari, P., Verta, M., Haapanen, M, & Munthe, J. (2003). Forestry practices increase mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. *Environmental Science and Technology* 37(11), 2389-2393.

- Ring, E. (1996). Effects of previous N fertilizations on soil-water pH and N concentrations after clear-felling and soil scarification at a *Pinus sylvestris* site. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11(1), 7-16.
- Roturier, S. (2010). Markberedning på vinterbetesland - Hur ska renlaven skötas? 2010:06. FAKTA SKOG.
- Sahlén, K. & Goulet, F. (2002). Reduction of frost heaving of Norway spruce and Scots pine seedlings by planting in mounds or in humus. *New Forests* 24(3), 175-182.
- Saksa, T., Heiskanen, J., Miina, J., Tuomola, J. & Kolstrom, T. (2005). Multilevel modelling of height growth in young Norway spruce plantations in southern Finland. *Silva Fennica* 39(1), 143-153.
- Sjögren, V. (2013). Naturlig föryngring efter markberedning med harv eller Bracke Planter i Småland. Examensarbete 2013:02. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst för skogens ekologi och skötsel. Umeå, Sweden,
- Sutherland, B.-J. &.-F. (1995). Guide to the Use of Mechanical Site Preparation Equipment in Northwestern Ontario. Natural Resources Canada.
- Söderbäck, E. (2012). Utvärdering av markberedning och plantering på SCA:s mark i Norrland 1998-2001 : föryngringsresultat efter 10 år. Examensarbete 2012:17. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogens Ekologi och Skötsel. Umeå, Sweden.
- Söderström, V. (1976). Analys av markberedningseffekterna vid plantering på några färska hyggen. *Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift* 74(2/3), 59-333. Djursholm, Sweden.
- Ulfhielm, C. (2014). Hänsynen till forn- och kulturlämningar: Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2013. Skogstyrelsen. Jönköping, Sweden.
- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T. & Harstela, P. (2010). Effects of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva Fennica* 44(10), 511-524.
- Vitousek, P.-M., Andariese, S.-W., Matson, P.-A., Morris, L. & Sanford, R. (1992). Effects of harvest intensity, site preparation, and herbicide use on soil nitrogen transformations in a young loblolly pine plantation. *Forest Ecology and Management* 49(3), 277-292.
- Örlander, G. (1986). Effects of planting and scarification on the water relations in planted seedlings of Scots pine. *Studia forestalia Suecica* 173.
- Örlander, G. & Gemmel, P. (1989). Markberedning. 1989:03. Sveriges Skogsvårdsförbund. Djursholm, Sweden.
- Örlander, G., & Nilsson, U. (1999). Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage and seedling survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14(4), 341-354.
- Örlander, G., Gemmel, P. & Wilhelmsson, C. (1991). Effects of sacrification, planting depth and planting spot on seedling establishment in a low humidity area in southern Sweden. 1991:33. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Umeå, Sweden.
- Örlander, G., Hallsby, G., gemmel, P., & Willhelmsson, C. (1998). Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* - 10-year results from a site preparation trial in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13(2), 160-168.